

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RODRIGO LIMA

**CRESCIMENTO, BIOMASSA E CARBONO DE *Pinus taeda* L. EM FUNÇÃO DO
ESPAÇO VITAL**

CURITIBA

2014

RODRIGO LIMA

**CRESCIMENTO, BIOMASSA E CARBONO DE *Pinus taeda* L. EM FUNÇÃO DO
ESPAÇO VITAL**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau e título de “Doutor em Engenharia Florestal”.

Orientador: Prof. Dr. Sebastião do Amaral Machado

Co-orientadores:
Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho
Prof. Dr. Mario Takao Inoue

CURITIBA

2014

Ficha catalográfica elaborada por Denis Uezu – CRB 1720/PR
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Lima, Rodrigo

Crescimento, biomassa e carbono de *Pinus taeda* L. em função do espaço vital / Rodrigo Lima. – 2014
104 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Sebastião do Amaral Machado

Coorientadores: Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho

Prof. Dr. Mario Takao Inoue

Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 27/02/2014.

Área de concentração: Manejo Florestal

1. Biomassa vegetal. 2. Sequestro de carbono. 3. *Pinus taeda*. 4. Teses. I. Machado, Sebastião do Amaral II. Figueiredo Filho, Afonso. III. Inoue, Mario Takao. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9


CDU – 634.0.548




Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

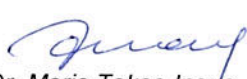
PARECER
Defesa nº. 1024


A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o(a) doutorando(a) *Rodrigo Lima* em relação ao seu trabalho de tese intitulado "**CRESCIMENTO, BIOMASSA E CARBONO DE *Pinus taeda* L. EM FUNÇÃO DO ESPAÇO VITAL**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Doutor* em Engenharia Florestal, área de concentração em MANEJO FLORESTAL.


Dr. Denise Jeton Cardoso
Embrapa Florestas
Primeiro examinador


Dr. Pericles Silveira
Departamento de Polícia Rodoviária Federal
Segundo examinador


Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima
Universidade Federal do Paraná
Terceiro examinador


Dr. Mario Takao Inoue
Pesquisador Autônomo
Quarto examinador


Dr. Sebastião do Amaral Machado
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora



Curitiba, 27 de fevereiro de 2014.


Antonio Carlos Batista
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

A meus pais, irmãos, amigos e familiares
DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus que abençoa e ilumina meu caminho;

À Universidade Federal do Paraná, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal e ao Departamento de Engenharia Florestal, pelo acolhimento e possibilidade de realização deste trabalho;

À CAPES-REUNI pela concessão da bolsa de estudos;

Ao Prof. Dr. Sebastião do Amaral Machado, pela orientação, amizade, estímulo, confiança e compreensão no desenvolvimento e conclusão deste trabalho;

Ao Prof. Dr. Afonso Figueiredo Filho pela valiosa co-orientação, amizade, incentivo e confiança desde o início do projeto;

Ao Prof. Dr. Mario Takao pela valiosa co-orientação, amizade, incentivo e confiança desde o início do projeto;

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal: Dr. Sebastião do Amaral Machado, Dr. Sylvio Péllico Netto, Dr. Roberto Tuyoshi Hosokawa, Dr. Julio Eduardo Arce, Dr. Afonso Figueiredo Filho, Dr. Henrique Soares Koehler, Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima, Dr. Carlos Roberto Sanquetta, Dr. Nelson Carlos Rosot, Dr. Franklin Galvão, Dr. Carlos Vellozo Roderjan e Dr^a Yoshiko Saito Kuniyoshi, pelos valiosos ensinamentos durante o curso;

Aos secretários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal Reinaldo Mendes de Souza e David Teixeira de Araujo, pela amizade e atenção;

Aos colegas e amigos de pós-graduação, em especial aos companheiros Hilbert Blum, Thiago Floriani Stepka, Enrique Orellana, Flavio Nascimento, Julio Wojciechowski e Luciano Pabis, pela dedicação e amizade incondicional.

À todos os amigos que conviveram comigo, incentivando e estando presentes dando apoio diante das dificuldades, em especial à Eliton Moreira, João Mauricio Pacheco, Marcelo Roveda, André Nasser Pereira, Jean Alberto Sampietro, Erich Malinowski, Karol Rickli, Gi Melo e José Alexandre Czerek.

À Família Blum (João Blum, Gina Siqueira, Hilbert Blum, Vanessa Blum e Viviane Blum) pela amizade e hospitalidade na minha chegada a Curitiba.

Enfim, a todos que colaboraram de alguma forma para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

Rodrigo Lima, filho de Sidney Lima e de Cleunice Borges, nascido em Telêmaco Borba, Paraná, em 03 de julho de 1984.

Em dezembro de 2007 concluiu o curso de Engenharia Florestal na Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO, formando-se em março de 2008. No mês de março de 2008, ingressou no programa de pós-graduação em Ciências Florestais da UNICENTRO, obtendo o grau de mestre em março de 2010.

No mês de março de 2010 ingressou no programa de pós-graduação em Engenharia Florestal, em nível de doutorado, da Universidade Federal do Paraná – UFPR, na área de concentração Manejo Florestal.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO.	30
FIGURA 2 - ÁREA DO EXPERIMENTO.	31
FIGURA 3 - DISPOSIÇÃO DAS PARCELAS DO EXPERIMENTO E DIMENSÕES PROPORCIONAIS DE OCUPAÇÃO DO ESPAÇO NO TERRENO ...	32
FIGURA 4 – PROCESSO DE COLETA DE DADOS PARA CUBAGEM.....	35
FIGURA 5 – PROCESSO DE COLETA DE DADOS.....	37
FIGURA 6 – PROCESSO DE PREPARO DAS AMOSTRAS.....	38
FIGURA 7 – PROCESSO DE OBTENÇÃO DO PESO SECO DAS AMOSTRAS.....	39
FIGURA 8 – PROCESSO DE OBTENÇÃO DO CARBONO ELEMENTAR	40
FIGURA 9 – VARIAÇÕES DO DIÂMETRO MÉDIO COM CASCA DE <i>Pinus taeda</i> L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.	46
FIGURA 10 – VARIAÇÕES DA ALTURA TOTAL DE <i>Pinus taeda</i> L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.....	49
FIGURA 11 – VARIAÇÕES DA ÁREA TRANSVERSAL DE <i>Pinus taeda</i> L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.....	52
FIGURA 12 – ÁREA BASAL DE <i>Pinus taeda</i> L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.	53
FIGURA 13 – VARIAÇÕES DO VOLUME INDIVIDUAL DE <i>Pinus taeda</i> L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.....	55
FIGURA 14 – VOLUME POR HECTARE DE <i>Pinus taeda</i> L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.....	57
FIGURA 15 – VARIAÇÕES DA BIOMASSA DO COMPONENTE FUSTE SEM CASCA DE <i>Pinus taeda</i> L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.	59
FIGURA 16 – VARIAÇÕES DA BIOMASSA DO COMPONENTE GALHO VIVO DE <i>Pinus taeda</i> L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.	61

FIGURA 17 – VARIAÇÕES DA BIOMASSA DO COMPONENTE GALHO MORTO DE <i>Pinus taeda</i> L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.	62
FIGURA 18 – VARIAÇÕES DA BIOMASSA DO COMPONENTE ACÍCULA DE <i>Pinus taeda</i> L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.	64
FIGURA 19 – VARIAÇÕES DA BIOMASSA DO COMPONENTE CASCA DE <i>Pinus taeda</i> L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.	65
FIGURA 20 – VARIAÇÕES DA BIOMASSA TOTAL DE <i>Pinus taeda</i> L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.	66
FIGURA 21 – PROPORÇÃO DE BIOMASSA PARA CADA ESPAÇAMENTO E BIOMASSA TOTAL GERAL CONSIDERANDO TODOS OS TRATAMENTOS.	67
FIGURA 22 – VARIAÇÕES DA BIOMASSA TOTAL POR HECTARE DE <i>Pinus taeda</i> L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.	69
FIGURA 23 – VARIAÇÕES DO PESO DE CARBONO DO COMPONENTE FUSTE SEM CÁSICA DE <i>Pinus taeda</i> L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.	72
FIGURA 24 – VARIAÇÕES DO PESO DE CARBONO DO COMPONENTE GALHO VIVO DE <i>Pinus taeda</i> L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.	73
FIGURA 25 – VARIAÇÕES DO PESO DE CARBONO DO COMPONENTE GALHO MORTO DE <i>Pinus taeda</i> L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.	74
FIGURA 26 – VARIAÇÕES DO PESO DE CARBONO DO COMPONENTE ACÍCULA DE <i>Pinus taeda</i> L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.	76
FIGURA 27 – VARIAÇÕES DO PESO DE CARBONO DO COMPONENTE CASCA DE <i>Pinus taeda</i> L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.	77
FIGURA 28 – VARIAÇÕES DO PESO DE CARBONO TOTAL POR ÁRVORE DE <i>Pinus taeda</i> L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.	78

FIGURA 29 – PROPORÇÃO DE CARBONO PARA CADA ESPAÇAMENTO E CARBONO TOTAL GERAL CONSIDERANDO TODOS OS TRATAMENTOS.	79
FIGURA 30 – VARIAÇÕES DO PESO DE CARBONO TOTAL POR HECTARE DE <i>Pinus taeda</i> L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.	81
FIGURA 31 – DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DOS MODELOS AJUSTADOS PARA BIOMASSA TOTAL POR ÁRVORE E PESO DE CARBONO TOTAL POR ÁRVORE.	83
FIGURA 32 – VARIAÇÕES NA PROPORÇÃO DE BIOMASSA DO FUSTE SEM CASCA E DO COMPONENTE GALHO VIVO EM FUNÇÃO DO ESPAÇO VITAL.....	87

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - TRATAMENTOS E RESPECTIVAS INFORMAÇÕES DE DENSIDADE INICIAL, MORTALIDADE E SOBREVIVÊNCIA.....	33
TABELA 2 - MÉDIAS DOS DIÂMETROS E RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS DE <i>Pinus taeda</i> L., AOS NOVE ANOS DE IDADE EM FUNÇÃO DOS ESPAÇAMENTOS UTILIZADOS.....	45
TABELA 3 - MÉDIAS DAS ALTURAS TOTAIS E RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS DE <i>Pinus taeda</i> L., AOS NOVE ANOS DE IDADE EM FUNÇÃO DOS ESPAÇAMENTOS UTILIZADOS.....	48
TABELA 4 - MÉDIAS DAS ÁREAS TRANSVERSAIS E ÁREAS BASAIS E RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS DE <i>Pinus taeda</i> L., AOS NOVE ANOS DE IDADE EM FUNÇÃO DOS ESPAÇAMENTOS UTILIZADOS.	51
TABELA 5 - MÉDIAS DOS VOLUMES POR ÁRVORE E POR HECTARE E RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS DE <i>Pinus taeda</i> L., AOS NOVE ANOS DE IDADE EM FUNÇÃO DOS ESPAÇAMENTOS UTILIZADOS.	54
TABELA 6 - MÉDIAS DA BIOMASSA DOS COMPONENTES E BIOMASSA TOTAL DE <i>Pinus taeda</i> L. AOS NOVE ANOS DE IDADE EM FUNÇÃO DOS ESPAÇAMENTOS UTILIZADOS.....	58
TABELA 7 - MÉDIAS DO PESO DE CARBONO E RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS DE <i>Pinus taeda</i> L., AOS NOVE ANOS DE IDADE EM FUNÇÃO DOS ESPAÇAMENTOS UTILIZADOS.....	71
TABELA 8 - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA BIOMASSA TOTAL POR ÁRVORE E PESO DE CARBONO TOTAL POR ÁRVORE PARA 81 ÁRVORES DE <i>Pinus taeda</i> L.	82

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS.....	x
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS.....	4
2.1. OBJETIVO GERAL	4
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
3. REVISÃO DE LITERATURA	5
3.1. ORIGEM E CARACTERÍSTICAS DO <i>Pinus taeda</i> L.	5
3.2. CRESCIMENTO DAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS	7
3.2.1. Diâmetro à altura do peito (DAP).....	8
3.2.2. Altura	9
3.2.3. Área basal	10
3.2.4. Volume	11
3.3. FATORES QUE AFETAM O CRESCIMENTO FLORESTAL.....	11
3.3.1. Luz.....	12
3.3.2. Espaçamento.....	13
3.4. BIOMASSA FLORESTAL	19
3.4.1. Método direto ou destrutivo	20
3.4.2. Método indireto.....	24
3.5. CARBONO DE BIOMASSA FLORESTAL	26
3.6. MODELAGEM DA BIOMASSA E DO CARBONO FLORESTAL	27
4. MATERIAL E MÉTODO.....	30
4.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	30
4.1.1. Caracterização do experimento	30
4.2. AVALIAÇÕES DENDROMÉTRICAS	33
4.2.1. Área transversal e área basal.....	34
4.2.2. Volume individual e volume por hectare	35
4.3. DETERMINAÇÕES DE BIOMASSA E CARBONO	36
4.3.1. Processamento dos dados	41
4.4. ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	41
4.4.1. Avaliação das variáveis em resposta ao espaçamento	41
4.4.2. Estimativa da biomassa e do carbono	42
4.4.3. Avaliação dos modelos.....	43
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1. EFEITO DO ESPAÇO VITAL NO CRESCIMENTO EM DIÂMETRO (DAP).....	45
5.2. EFEITO DO ESPAÇO VITAL NO CRESCIMENTO EM ALTURA	47
5.3. EFEITO DO ESPAÇO VITAL NA ÁREA TRANSVERSAL E ÁREA BASAL.....	50
5.4. EFEITO DO ESPAÇO VITAL NO VOLUME POR ÁRVORE E POR HECTARE.....	54
5.6. EFEITO DO ESPAÇO VITAL NA BIOMASSA	58
5.6.1. Fuste sem casca	58
5.6.2. Galho vivo.....	60

5.6.3. Galho morto.....	61
5.6.4. Acículas.....	63
5.6.5. Casca	64
5.6.6. Biomassa total por árvore.....	65
5.6.7. Biomassa total por hectare	69
5.7. EFEITO DO ESPAÇO VITAL NO PESO DE CARBONO	70
5.7.1. Fuste sem casca	71
5.7.2. Galho vivo.....	72
5.7.3. Galho morto.....	74
5.7.4. Acícula.....	75
5.7.5. Casca	76
5.7.6. Carbono total por árvore.....	77
5.7.7. Carbono total por hectare.....	80
5.8. MODELAGEM DA BIOMASSA TOTAL POR ÁRVORE E PESO DE CARBONO TOTAL POR ÁRVORE.....	82
5.9. ANÁLISE GERAL DO EFEITO DO ESPAÇO VITAL NO CRESCIMENTO, BIOMASSA E CARBONO DE <i>Pinus taeda</i> L.	84
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	88
7. REFERÊNCIAS.....	89

RESUMO

O presente trabalho objetivou avaliar o comportamento de *Pinus taeda* L. em função do espaço vital de crescimento (entre 1,0 m² e 16,0 m² por árvore) de um experimento com nove tratamentos de espaçamento inicial (1,0 m x 1,0 m; 2,0 m x 1,0 m; 2,0 m x 2,0 m; 3,0 m x 2,5 m; 3,0 m x 3,0 m; 3,0 m x 3,5 m; 4,0 m x 3,0 m; 4,0 m x 3,5 m e 4,0 m x 4,0 m) implantado na região de Irati, PR. Em 2012, nove anos após o plantio, realizou-se a medição das árvores do experimento. Foram tomados dados de altura total e do diâmetro a 1,3 m do solo (DAP). As informações coletadas serviram como base para gerar a distribuição de diâmetros. Os dados de DAP de cada tratamento (espaçamento) foram separados em nove classes. Em cada tratamento foram selecionadas e marcadas em campo nove árvores, ou seja, uma árvore em cada classe diamétrica, visando a obtenção do volume pela cubagem rigorosa e determinações de biomassa aérea e carbono, totalizando 81 árvores distribuídas na área do ensaio. Cada árvore foi segmentada em: fuste, galhos vivos, galhos mortos, acículas e casca. O efeito do espaço vital no crescimento em diâmetro (DAP), altura total, área transversal, área basal, volume por árvore, volume por hectare, produção de biomassa (peso seco) dos componentes: fuste, galhos vivos, galhos mortos, acículas e casca, seus respectivos pesos de carbono, bem como os valores de biomassa total por árvore e carbono total por árvore, foram submetidos a análises de estatística descritiva e experimental (homogeneidade de variâncias, análise de variância e teste de comparação de médias de Tukey), no delineamento inteiramente casualizado. Os principais resultados foram: o espaço vital afetou o crescimento (DAP, área transversal, área basal, volume por árvore e por hectare) e a produção de biomassa e carbono (fuste, galhos vivos, galhos mortos, acículas e casca), biomassa e peso de carbono total. Apenas o crescimento em altura não foi influenciado pelo espaçamento. O acúmulo de biomassa e peso de carbono ocorreu prioritariamente no fuste, seguido pelos galhos vivos, casca, acículas e galhos mortos. Tendência de redução na proporção de madeira do fuste com o aumento do espaço vital foi constatada, indicando que espaços vitais menos amplos (1,0 m²; 2,0 m² e 4,0 m²) podem ser manejados visando a produção biomassa (regime de manejo “*pulpwood*”), em rotações curtas. Espaços vitais intermediários (9,0 m² e 10,5 m²) e mais amplos (12,0 m²; 14,0 m² e 16,0 m²) podem ser escolhidos para geração de multiprodutos (regime de manejo “*utility*”), em rotações longas. Recomenda-se o uso do espaço vital com 7,5 m² quando o produtor florestal ainda não definiu o destino final do seu produto. Assim, torna-se possível optar tanto pela produção de biomassa, como para a obtenção de multiprodutos. O uso de equações de regressão na área de estudo, para a estimativa da biomassa e do peso de carbono em função de variáveis de fácil obtenção (DAP e altura total) de *Pinus taeda* L., pode ser uma boa alternativa como método indireto de determinação.

Palavras-Chave: espaçamento; floresta plantada; produção; fixação de carbono.

ABSTRACT

The goal of this study was to assess the *Pinus taeda* L. performance according to the vital growth area (within 1.0 m² to 16.0 m² per tree) of an experiment containing nine treatments of initial spacing (1.0 m x 1.0 m; 2.0 m x 1.0 m; 2.0 m x 2.0 m; 3.0 m x 2.5 m; 3.0 m x 3.0 m; 3.0 m x 3.5 m; 4.0 m x 3.0 m; 4.0 m x 3.5 m e 4.0 m x 4.0 m), which took place in region of Irati in Parana State, Southern Brazil. The tree data collection for the experiment were taken in 2012, nine years after they were planted. The tallied tree measurements were the total height and the diameter at 1.3 m height (DBH). These data were used as the basis to generate the distribution of diameters. The DBH data of each treatment was organized into nine classes. In order to obtain the volume by cubing and determinations of biomass and carbon levels, nine trees of each of the nine spacing treatment classes were selected and marked on the field, making for a total of 81 trees distributed in the subject area. Each tree was segmented into the following parts: stem, live limbs, dead limbs, needles and bark. The consequences of the vital space on diameter growth (DBH), total height, cross sectional area, basal area, tree volume, volume per hectare, biomass production of the components: stem, live limbs, dead limbs, needles and bark, their respective weights of carbon, as well as the values of total biomass per tree and total carbon per tree were subjected to analysis of descriptive and experimental statistics (homogeneity of variance, analysis of variance and the Tukey test of mean comparison) in a completely randomized design. The main results were that the vital space affected the growth (DBH, cross sectional area, basal area, volume per tree and per hectare), the carbon and biomass production (stem, live limbs, dead limbs, needles and bark) and the biomass and the total weight of carbon. Only the growths in height were not affected by the spacing treatment. The accumulation of biomass and carbon weight occurred to a large extent in the stem, followed by the live limbs, barks, needles and dead limbs. It was observed a trend where an increase of the vital space showed a decrease in the proportion of wood from the stem, indicating that smaller vital spaces (1.0 m²; 2.0 m² e 4.0 m²) can be used to achieve the production of biomass in shorter rotations (pulpwood management regime). Intermediate vital spaces (9.0 m² and 10.5 m²) and wider (12.0 m², 14.0 m² and 16.0 m²) can yield multiple products in long rotations (utility management regime). A vital spacing of 7.5 m² is recommended when the forest producer has not yet decided the end-use of the production. Therefore, both the multiple products and the biomass become available choices as end products. In the field of study, the use of regression equations to estimate biomass and carbon weight as function of easily obtainable variables (DBH and total height) of *Pinus taeda* L. can be a good alternative as an indirect method of determination.

Keywords: spacing; planted forest; production; carbon uptaking.

1. INTRODUÇÃO

A madeira e seu uso balizam a qualidade de vida das civilizações no decorrer da história. As florestas e seus produtos são responsáveis pela evolução econômica, cultural e social de diversos países. Em um passado recente, grande parte da região Sul do Brasil era coberta por florestas latifoliadas, onde a única espécie de conífera que predominava em larga escala era a *Araucaria angustifolia*. O manejo inadequado das florestas de Araucária e o uso do solo para agricultura e pecuária impediram uma produção sustentável desta espécie, levando os madeireiros a buscarem fontes alternativas de matéria-prima.

As atividades silviculturais com espécies do gênero *Pinus* foram intensificadas a partir da segunda metade da década de sessenta, após a promulgação da lei de incentivos fiscais. Áreas extensas foram ocupadas predominantemente com *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, atualmente constituindo a base de importantes atividades industriais como produção de chapas, compensados, mobiliário, aglomerados, embalagens, celulose e papel, etc.

O Brasil é a maior potência florestal do mundo graças às suas condições naturais de solo, clima e disponibilidade de áreas contíguas com vocação florestal em seu território continental. Segundo o anuário publicado pela Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (2013), a área plantada com *Pinus* no Brasil (1.562.782 ha) está concentrada na região Sul do país (84,7%), devido às condições edafoclimáticas e a localização dos principais centros processadores desse tipo de madeira. O estado do Paraná lidera o ranking de área plantada com *Pinus* com 39,7% da área total, seguido por Santa Catarina, que possui 34,5% e Rio Grande do Sul com 10,5%.

No planejamento para implantação de uma floresta, uma das principais decisões a serem tomadas é a escolha do espaçamento inicial de plantio, o qual deve estar relacionado com a finalidade da madeira. O efeito do espaçamento sobre o desenvolvimento e a produção de madeira pelos povoamentos florestais tem despertado o interesse de pesquisadores e proprietários há muitos anos. Nos primórdios da atividade de reflorestamento no Sul do Brasil, geralmente o espaçamento utilizado nos plantios com *Pinus* era de 2,0 m x 2,0 m. Com o passar

do tempo e a diversificação na utilização florestal evoluiu para espaçamentos maiores (em geral, 2,5 m x 3,5 m, entre outros) (INOUE *et al.*, 2011b). Em plantios mais espaçados, maior também é a formação de galhos, o que pode trazer eventuais prejuízos à qualidade da madeira para laminação e serraria, para produtos que demandam madeira livre de nós (SUTTON, 1970). Em tais espaços vitais pode ocorrer maior acúmulo de madeira juvenil em relação a espaçamentos menores, e que em idade de corte final pode influir na qualidade tecnológica da madeira (HASELEIN *et al.*, 2000).

Com o desenvolvimento de tecnologias industriais, a utilização de madeira de diferentes dimensões possibilita que se aproveite madeira de árvores mais jovens, de menores diâmetros (INOUE *et al.*, 2011b).

Além de outros fatores de sítio e clima, o espaço vital requerido pela árvore num talhão é de extrema importância, principalmente na fase inicial do crescimento. Assim, o uso de espaçamentos menores abre possibilidades de produção mais eficaz por área plantada, diminuindo os custos do empreendimento. Para estabelecer um espaçamento de plantio adequado é preciso pesar os prós e contras e definir qual produz maior rendimento em uma região, de acordo com os valores obtidos dos sortimentos produzidos pela floresta (PAULESKI, 2010).

Segundo Souza e Fiorentin (2013), é cada vez maior o interesse pela fixação de carbono em florestas plantadas, principalmente em razão das suas elevadas taxas de crescimento. Pelo processo de fotossíntese as árvores absorvem CO₂ da atmosfera e armazenam carbono em sua biomassa, assim formando grandes reservatórios desse elemento (SILVEIRA *et al.*, 2008). As florestas são importantes para o equilíbrio do estoque global de carbono, pois armazenam na fitomassa e no solo, mais carbono do que existe na atmosfera (MIRANDA, 2008).

Cientistas relatam que, por ano, a humanidade despeja na atmosfera cerca de 9 milhões de toneladas de carbono (mais de 30 bilhões de toneladas de CO₂). Desse total, 88% vêm da queima de combustíveis fósseis e da fabricação de cimento. O resto é desflorestamento. No entanto, menos da metade dessa produção bruta permanece na atmosfera e contribui para o aquecimento do planeta (APPENZELLER, 2011).

Para Sanquetta e Balbinot (2004), um dos aspectos mais relevantes nos estudos de fixação de carbono em florestas, sem sombra de dúvidas, é a variável biomassa, a qual precisa ser determinada e estimada de forma fidedigna, caso contrário não haverá consistência na quantificação do carbono fixado nos ecossistemas florestais. Neste aspecto, existe a necessidade do desenvolvimento de técnicas adequadas para determinação e correta interpretação do peso de biomassa e carbono acumulados. Entretanto, sua determinação pode ser obtida por meio de métodos diretos e indiretos (SANQUETTA *et al.*, 2006). O primeiro exige o corte das árvores e a pesagem de seus componentes separadamente e o segundo utiliza-se de dados obtidos pelo primeiro método, para aplicação da modelagem matemática.

A variação na densidade populacional dos reflorestamentos normalmente afeta a quantidade de biomassa produzida e a qualidade do produto final. Espera-se que em menor espaço vital entre árvores, em razão do melhor aproveitamento inicial dos recursos por unidade de área, em um menor intervalo de tempo, a quantidade inicial de biomassa obtida por área seja maior. Entretanto, ao longo do ciclo de cultivo, as diferenças entre populações com diferentes espaçamentos devem ser minimizadas.

Para Silveira (2010), os estudos de biomassa e carbono em formações florestais são feitos com objetivos diversos, dentre os quais destacam-se a quantificação da ciclagem de nutrientes, a quantificação para fins energéticos e como base de informações para estudos de sequestro de carbono. As florestas de *Pinus taeda* L. são caracterizadas pela alta taxa de crescimento, que promove uma elevada fixação de CO₂ na biomassa, trazendo como benefícios a qualidade do solo e a mitigação dos gases de efeito estufa.

Assim, torna-se necessária a realização de estudos com a finalidade de analisar o comportamento do crescimento, produção de biomassa e carbono de *Pinus taeda* L., em função do espaço vital. Portanto, os resultados deste trabalho poderão servir de base para o entendimento do desenvolvimento da espécie em questão, gerando subsídios relevantes para a tomada de decisão no planejamento e na gestão desta importante cultura florestal na região Sul do Brasil.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Este trabalho se propôs a estudar o crescimento, biomassa e carbono de *Pinus taeda* L., aos nove anos de idade em função do espaço vital.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Especificamente objetiva-se:

- a) Avaliar o efeito de nove diferentes espaços vitais no crescimento em diâmetro a 1,3 m do solo (DAP), altura total, área transversal, área basal, volume por árvore e por hectare;
- b) Determinar a biomassa aérea e o peso de carbono aéreo;
- c) Avaliar o efeito de nove diferentes espaços vitais na produção de biomassa e carbono;
- d) Ajustar modelos para estimativa da biomassa total e do carbono total por árvore em função de variáveis de fácil obtenção (DAP e altura total).

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. ORIGEM E CARACTERÍSTICAS DO *Pinus taeda* L.

Pinus taeda é a mais importante dentre as espécies de pinus plantadas comercialmente no Sul e Sudeste dos Estados Unidos (AGUIAR *et al.*, 2013). Ela ocorre em toda a região, desde Delaware, no Nordeste, até o Texas, no Oeste e, ao Sul, até a região Central da Flórida. Essa área abrange ecossistemas desde a planície costeira Atlântica até os Montes Apalaches e, ao Oeste, estende-se até o Oeste do Rio Mississippi. A cobertura florestal com esta espécie, nos Estados Unidos, é estimada em 11,7 milhões de hectares (SHIMIZU, 2012).

Segundo Gilman e Watson (1994), o gênero *Pinus* pertence à família Pinaceae, ordem Coniferales e classe Gymnospermae. A espécie *Pinus taeda*, morfofisiologicamente, é caracterizada por ser uma árvore que pode atingir mais de 20 m de altura, com casca gretada, ramos acinzentados, acículas reunidas em grupos de três, com 15 a 20 cm de comprimento, e de cor verde escura (ELESBÃO, 2011). Seus cones masculinos são cilíndricos e amarelados, e os femininos, ovados oblongos, sésseis ou subsésseis, muito persistentes e dotados de escamas espinhosas. As sementes são pequenas, com cerca de 5 mm de comprimento e com alas de até 25 mm, tendo dispersão anemocórica (ELESBÃO, 2011).

De acordo com Harms *et al.* (2000), *Pinus taeda* é uma espécie muito comum e importante economicamente nos Estados Unidos e tem sido introduzida em vários países, como Argentina, Austrália, Brasil, China, Nova Zelândia e África do Sul. Os maiores programas de implantação e manejo de *Pinus taeda* são realizados no Brasil e na China (LEITE *et al.*, 2006).

As primeiras sementes de *Pinus taeda* foram introduzidas em 1936, pelo Instituto Florestal de São Paulo (KRONKA *et al.*, 2005). Segundo Shimizu (2006), em 1948, por meio do Serviço Florestal do Estado de São Paulo, foram introduzidas no Brasil, para ensaios, as espécies americanas conhecidas nas origens como "pinheiros amarelos", dentre essas espécies, o *Pinus taeda*.

A partir da segunda metade da década de sessenta, o reflorestamento com espécies do gênero *Pinus* foram intensificados, após a lei de incentivos fiscais.

Áreas foram ocupadas predominantemente com *Pinus taeda* e *Pinus elliotti* var. *elliotti*, formando a base florestal para atividades industriais (SHIMIZU, 1997; FERREIRA *et al.*, 2001).

No Brasil, o *Pinus taeda* é conhecido popularmente como pinheiro-amarelo, pinheiro-rabo-de-raposa, pinheiro-do-banhado, pinos e pinho-amarelo (LORENZI *et al.*, 2003).

Um dos aspectos fundamentais para alcançar sucesso no estabelecimento das florestas de *Pinus taeda* no Sul do País foi à definição de metodologia de análise adequada para maior e melhor uniformidade na germinação de suas sementes, que é heterogênea quando comparada ao *Pinus elliottii* Engelm. E por apresentar um teor de resinas mais baixo do que *Pinus elliottii*, tornou-se a espécie preferida para as novas florestas industriais, conseqüentemente, também para a indústria moveleira (PRANGE, 2003).

O *Pinus taeda* e o *Pinus elliottii* são plantados em larga escala na região Sul do país, compreendendo os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, conhecidos popularmente por serem as principais espécies cultivadas (REISSMANN e WISNIEWSKI, 2000). O *Pinus taeda*, em altitudes superiores a 1.200 metros, apresenta crescimento excelente, superior ao crescimento do *Pinus elliottii* (SUASSUNA, 2012).

Para Kronka *et al.* (2005), uma das razões mais importantes para a introdução do *Pinus* no país foi à necessidade da produção de madeira para abastecimento industrial, para processamento mecânico, na produção de madeira serrada, madeira laminada na confecção de painéis ou na produção de celulose e papel.

Segundo Shimizu (2012), as características que favorecem o plantio de *Pinus taeda* são as seguintes:

- A madeira é de cor clara, variando de branca a amarelada;
- De fibra longa, apropriada para fabricação de papel de alta resistência para embalagens, papel de imprensa e outros tipos de papéis;
- Apresenta rusticidade e tolerância, possibilitando o plantio em solos marginais para a agricultura, valorizando assim a terra imprópria para a agricultura convencional, com a produção adicional de madeira, a formação de cobertura protetora do solo, a reconstituição de ambiente propício à recomposição espontânea

da vegetação nativa;

- Apresenta bom desenvolvimento em ambientes degradados e contribui com a redução por absorção dos índices de carbono da atmosfera.

Para Bognola *et al.* (2008), o povoamento de *Pinus taeda* é diferenciado pela sua versatilidade, porque, após o corte, sua madeira pode ser destinada à indústria. Neste aspecto, Schuchovski (2003) relatou uma variedade de itens produzidos a partir de madeira de pinus, em diversas empresas e indústrias instaladas no estado do Paraná. Os produtos são os seguintes: celulose fibra longa não branqueada, pasta mecânica, molduras, painéis de madeira reconstituída (aglomerado, compensado, MDF e OSB), lâmina, madeira serrada bruta e beneficiada, madeira bruta seca em estufa, móveis e pré-cortado para móveis, laterais de gavetas, palito de fósforo, lâmina de caixa de fósforos, grampo, prendedor de roupa, pazinha, cavaco, cerca, “pallet”, compensado anatômico, sarrafo, refilado, caixa de brinquedo, tora, torete, lenha, porta, assoalho, meia-cana, prancha, tábua, forro, rodapé, tapete de sarrafo, papel e celulose, estrado, embalagem, embalagem pré-cortada e aplainada, ripão.

O *Pinus taeda* é considerado de baixa exigência nutricional, sendo que na região sul do Brasil, apresenta crescimento rápido e alta produtividade, mesmo sem o uso de insumos. As condições de adaptação do *Pinus* aos solos ligeiramente ácidos, que constituem a grande maioria dos solos do país, permitiram a implantação de extensas áreas que, juntamente com a adoção de práticas silviculturais adequadas, tornam as espécies do gênero importantes fontes de matéria-prima, proveniente de florestas estabelecidas dentro de padrões de sustentabilidade (KRONKA *et al.*, 2005).

Segundo Aguiar *et al.* (2013), *Pinus taeda* é a espécie mais plantada no Brasil, entre os pinus, abrangendo aproximadamente um milhão de hectares, no planalto da região Sul do Brasil, para a produção de celulose, papel, madeira serrada, chapas e madeira reconstituída.

3.2. CRESCIMENTO DAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS

O crescimento é o resultado da modificação e acréscimo das diversas variáveis dendrométricas como o diâmetro, altura total, altura da base da copa, perfil do tronco, volumes total e parcial, biomassa, etc. Este aumento é produzido pela atividade fisiológica da planta, por meio do meristema apical e lateral (DIÉGUEZ-ARANDA *et al.*, 2003; CAMPOS e LEITE, 2009).

Para Vanclay (1994) o crescimento refere-se ao incremento em dimensão de uma ou mais árvores do talhão, em determinado período de tempo. O crescimento das árvores consiste no alongamento e engrossamento das raízes, caules e ramos, que causa a mudança de peso, volume e forma da árvore, e é influenciado diretamente pelos fatores genéticos da espécie, interagindo com o meio ambiente: fatores climáticos, solo, topografia e competição (KRAMER e KOSLOWSKI, 1979; HUSCH *et al.*, 1982; FINGER, 1992; SCOLFORO, 1994; ENCINAS *et al.*, 2005).

Segundo Hosokawa *et al.* (1998) o estudo do crescimento possibilita conhecer o potencial de produção florestal de uma determinada localidade e com isso, também a tomada de decisões sob vários aspectos, tanto na produção biológica, como na produção econômica.

O estudo do crescimento parte das informações primárias do povoamento florestal originadas de um sistema de inventário ou a partir de um banco de dados (SOARES *et al.*, 2011).

O conhecimento apropriado do comportamento de cada variável dendrométrica é importante para definir as estratégias de manejo, sejam sob a ótica silvicultural, econômica, ambiental e/ou social tanto para florestas plantadas como para florestas nativas (MORAIS FILHO *et al.*, 2003).

3.2.1. Diâmetro à altura do peito (DAP)

O crescimento em diâmetro se refere ao aumento da espessura de uma árvore em um determinado período de tempo. Este crescimento é também chamado de crescimento secundário (ENCINAS *et al.*, 2005). Estes autores ainda comentaram que em geral, primeiro a árvore cresce em altura e depois em diâmetro. Este crescimento é fortemente influenciado pelo espaço vital e não é igual ao longo de todo o fuste (LIMA, 2010).

Os diâmetros aumentam significativamente até o momento que os indivíduos começam a competir entre si (COELHO, 2010). Neste aspecto, um dos fatores que mais influencia no crescimento em diâmetro de uma árvore é a silvicultura aplicada e, concretamente, o manejo da densidade da massa, que se regula mediante as operações de desbastes (DACOSTA, 2008). As densidades baixas favorecem o crescimento diametral das árvores ao diminuir a competição entre os indivíduos (DIÉGUEZ-ARANDA *et al.*, 2003).

Segundo Schneider (1993) os incrementos em diâmetro também são influenciados por outros fatores como qualidade do sítio e idade, conforme segue:

- Em sítios bons ocorre uma taxa inicial maior de crescimento;
- Em povoamentos maduros, a taxa de crescimento em área basal tende a permanecer constante;
- Uma pequena melhora na qualidade de um sítio empobrecido, ocasiona um notável incremento no acúmulo de área basal.

3.2.2. Altura

O crescimento em altura se produz pela atividade da gema apical ou terminal, pela divisão celular. Este crescimento é também chamado de crescimento primário (ENCINAS *et al.*, 2005). Estes autores, ainda relataram que a variável altura da árvore produz a modificação mais notória do crescimento especialmente, na idade em que se torna fácil observar a rapidez da modificação em altura em períodos curtos de tempo.

Para Campos *et al.* (1985) e Finger (1992) a altura da árvore é uma importante variável dendrométrica para estimar, junto com o diâmetro, o volume de madeira da árvore e seus componentes. Torna-se, também, necessário conhecer a medida de altura para a interpretação do processo de crescimento e incremento volumétrico, sendo que fornece importante subsídio à classificação de sítios (CAMPOS *et al.*, 1985).

Golfari (1971) ressaltou a importância de ter a altura como índice orientador, considerando que seu incremento não está, dentro de certos limites, influenciado pela densidade do povoamento.

Uma diminuição da altura média com o uso de espaçamentos menores foi observada por Balloni e Simões (1980), que comentaram a existência de várias controvérsias em relação à influência do espaçamento sobre o crescimento em altura das árvores.

Para Campos *et al.* (1985) e Finger (1992) esta variável tem importância fundamental no estudo dos sítios, isto é, quando se quer descrever o comportamento e desenvolvimento de uma espécie, associados a um determinado local e analisada junto com a idade, sendo muito importante no manejo florestal, pois relaciona o crescimento das árvores com os fatores ambientais.

3.2.3. Área basal

Basicamente, os mesmos fatores que favorecem o crescimento em diâmetro também contribuem para o crescimento em área basal, entretanto, o incremento em diâmetro difere do incremento em área basal (LIMA, 2010).

O incremento da área basal do povoamento depende do incremento das áreas transversais das árvores e do número destas. A área basal aumenta significativamente até o momento em que os indivíduos começam a competir entre si (DACOSTA, 2008). Para Burger (1980) e Schneider (1986) a diminuição do crescimento da área basal ocorre devido, também, à alta densidade, à competição e à mortalidade.

Schneider (1993) citou que essa redução do crescimento em área basal pode ser resultado da redução de produção fotossintética, limitação da quantidade de água e nutrientes absorvidos pelas árvores, e da falta de desenvolvimento do sistema radicular. O crescimento em área basal é avaliado em função da medição do diâmetro.

Encinas *et al.* (2005) e Dacosta (2008) relataram que, tratando-se de povoamentos equiâneos, a área basal da floresta é relativa ao diâmetro médio das árvores e à densidade populacional, sendo que maiores densidades acarretam valores de área basais mais elevados, até o instante em que o povoamento entra em competição, o que causa uma redução no incremento diamétrico e, por consequência, no incremento em área basal.

3.2.4. Volume

O crescimento em volume se refere ao aumento das dimensões do fuste, em termos volumétricos, em um determinado período de tempo e, se avalia calculando a diferença dos volumes que a árvore teria no início e no fim do período (ENCINAS *et al.*, 2005).

Para Prodan *et al.* (1997), o volume representa a produção potencial de matéria sólida de um povoamento, sendo caracterizado pelo meio ambiente e pela atividade florestal empregada.

O crescimento em volume está alicerçado nos crescimentos em diâmetro e altura e na forma do fuste (ENCINAS *et al.*, 2005).

Para Scolforo (1994) os povoamentos florestais com menor densidade, embora apresentem maiores valores médios de diâmetro e área basal, possuem uma menor produção líquida que as florestas com maior densidade. Isto ocorre devido ao menor número de árvores por unidade de área (ENCINAS *et al.*, 2005).

Segundo Machado *et al.* (2002), o procedimento mais comum utilizado na estimativa de volumes por árvore é o emprego de equações em que o volume constitui a variável dependente, estando as variáveis independentes comumente representadas pelo DAP com casca e a altura total ou altura comercial. Uma terceira variável independente que, eventualmente, pode ser usada em equações volumétricas, é um termo que expressa a forma do fuste, normalmente o quociente de forma.

Apesar de o uso ter consagrado alguns modelos matemáticos para estimar o volume, nenhum deles será sempre o de melhor desempenho para todas as espécies e condições (DACOSTA, 2008). Por isso, torna-se recomendável testar vários modelos para, através de análises estatísticas, identificar o melhor para cada caso.

3.3. FATORES QUE AFETAM O CRESCIMENTO FLORESTAL

Segundo Schneider (1993), para o manejador inferir no crescimento de uma determinada árvore ou povoamento, faz-se necessário conhecer os fatores que o

afetam, dentre os quais estão a luz, a temperatura, a água, os nutrientes, o CO₂ e conteúdo de clorofila. Para Simões *et al.* (1976), a decisão em relação ao espaçamento afeta a formação das florestas, os tratamentos culturais, a qualidade da madeira, a colheita florestal e, conseqüentemente, os custos da produção.

Embora o crescimento florestal dependa de inúmeros fatores, sejam climáticos, edáficos e biológicos, optou-se por abordar nesta revisão apenas os temas: luz e espaçamento, pois, estes estão diretamente relacionados aos objetivos do trabalho.

3.3.1. Luz

Dentre os fatores ambientais é a luz que exerce maior influência sobre todos os estágios de desenvolvimento da planta, existindo um ponto ótimo em cada fase (WHATLEY e WHATLEY, 1982). A implantação de uma floresta com uso de um espaçamento menos amplo possivelmente, proporciona ao povoamento maior concorrência por luz entre as árvores. Já em espaçamentos mais amplos a incidência de luz nas árvores é maior e a competição por este e outros fatores do meio são reduzidas, ou seja, estas árvores são beneficiadas pelo amplo espaço disponível para seu pleno desenvolvimento.

Para a planta, a radiação solar não é somente uma fonte de energia, mas também um estímulo governando o condicionamento do desenvolvimento e às vezes funciona como um fator estressante; muitos processos do desenvolvimento são controlados pela radiação solar, como a germinação, o crescimento direcionado e a forma externa da planta (LARCHER, 2000).

A intensidade de luz interfere no crescimento vegetativo por exercer efeitos diretos sobre a fotossíntese, a abertura estomática e a síntese de clorofila (KOZLOWSKI *et al.*, 1991). Para Turnbull *et al.* (1993) e Agyeman *et al.* (1999), a adaptação das plantas à luz, durante a fase inicial do desenvolvimento, condiciona mudanças em sua estrutura e metabolismo que determinará o sucesso ou não do crescimento da espécie florestal.

Segundo Walters e Reich (1999), um aumento da capacidade de crescimento sob baixa intensidade luminosa como um componente da tolerância ao

sombreamento é apontado como lógico, uma vez que aumentaria a capacidade competitiva destas plantas.

Para Givnish (1988), em geral, plantas cultivadas sob elevados níveis de luminosidade possuem algumas características morfofisiológicas em comum, quando comparadas com plantas cultivadas sob sombra: menor área foliar, aumento da espessura foliar e menor área foliar específica, maior alocação de biomassa para as raízes, maiores teores de clorofila por área foliar, maiores razões entre clorofilas *a* e *b* e maior densidade estomática.

Os processos do desenvolvimento vegetal estão intimamente relacionados a luz (SALISBURY e ROSS, 1992), tanto por sua importância na produção de fotossintatos como por representarem um sinal seguro, garantindo à planta, preparar-se para condições adversas (VINCE-PRUE, 1975). Neste aspecto, Gomez-Pompa e Vázquez-Yanes (1976) afirmaram que a luz é um dos fatores ambientais mais críticos na determinação do êxito de alguns indivíduos de certas espécies em relação a outras, sendo a competição por luminosidade de fundamental importância para o crescimento e a sobrevivência das espécies.

3.3.2. Espaçamento

O espaçamento de plantio é, provavelmente, uma das variáveis mais importantes para a qualidade e produtividade de matéria-prima a ser produzida (SILVA e FERREIRA, 2013). Para Chies (2005) a escolha do espaçamento tem como principal objetivo proporcionar para cada árvore o espaço suficiente para se obter o crescimento máximo com melhor qualidade e menor custo.

Um dos principais aspectos envolvidos no manejo refere-se à escolha do espaçamento correto no plantio e o espaço vital ao longo do ciclo da floresta, pois o mesmo tende a influenciar tanto o crescimento individual bem como seu crescimento em conjunto (LIMA, 2010).

A definição de quais técnicas de manejo empregar em plantios de *Pinus* spp. em função do objetivo da produção, é um dos principais problemas na administração florestal em empresas de médio e grande porte (GOMES *et al.*, 2002).

Para Scolforo (1998) quando o povoamento é muito denso o espaço para o crescimento de cada árvore é reduzido, retardando o crescimento e desenvolvimento da planta, comprometendo assim o desenvolvimento radicial e da copa, afetando diretamente a qualidade e quantidade da produção. A decisão sobre o espaçamento a ser adotado constitui a primeira prática silvicultural que poderá vir a influenciar nas propriedades da futura árvore (KRONKA *et al.*, 2005).

Além de apresentar influência marcante na produção, o espaçamento afeta significativamente os custos de implantação (VALE *et al.*, 1982), a manutenção e exploração da floresta (MELLO *et al.*, 1976) e pode afetar a qualidade da madeira produzida (WEHR, 1982).

Para Botelho (1998) a recomendação de espaçamento não pode ser generalizada, devendo-se levar em consideração a qualidade do sítio, as características da espécie, os objetivos de manejo e condições de mercado bem como os métodos de colheita da madeira. Clutter *et al.* (1983) comentaram sobre a importância da densidade de um povoamento concluindo que, dentro de certos limites, maior quantidade de espaço disponível para cada árvore proporcionará crescimento mais rápido.

Guimarães (1957) descreveu as vantagens da utilização de espaçamentos mais amplos citando os seguintes fatores:

- As árvores apresentam maior desenvolvimento individual, permitindo sua utilização para fins mais nobres;
- Maior facilidade de mecanização de várias operações após o plantio;
- Na colheita há maior facilidade na extração de lenha;
- Redução da taxa de mortalidade;
- Menor proporção de árvores dominadas.

De acordo com Berger (2000), a tendência para espaçamentos maiores visa à produção de menor volume total de madeira, mas de melhor qualidade, baseada em diâmetros maiores.

Guimarães (1957) e Fishwick (1976) destacaram que espaçamentos mais amplos frequentemente ocasionam lucros financeiros maiores. Contudo o segundo autor citou como vantagens destes espaçamentos os seguintes pontos:

- Custo reduzido de implantação em relação ao número de árvores;

- Toras de maior diâmetro nos primeiros desbastes e nas árvores de corte final;
- Desbastes antieconômicos nos primeiros anos podem ser evitados;
- As rotações podem ser mais curtas para a produção de toras de tamanhos pré-determinados.

A densidade inicial do plantio é uma decisão da área de manejo com importantes consequências sobre a quantidade e qualidade do produto final (CASTELO, 2007). Neste aspecto, Arce (2002) comentou que a densidade inicial do povoamento é uma medida utilizada para avaliar quantitativamente o estoque em crescimento no povoamento.

Segundo Cardoso (1989), povoamentos muito densos tendem naturalmente a apresentar árvores de diâmetro menor se comparados com árvores de povoamentos pouco densos, onde a concorrência por espaço é menor e o crescimento em diâmetro é mais acentuado.

Para Patiño-Valera (1986), a densidade ótima é aquela capaz de fornecer o maior volume do produto em tamanho, forma e qualidade desejáveis, sendo função do sítio, da espécie e do potencial do material genético utilizado. A densidade do povoamento é o segundo fator em importância, depois da qualidade do sítio, para a determinação da produtividade de um sítio florestal (DANIEL *et al.*, 1982).

As medidas de densidade podem ser agrupadas, segundo Spurr (1952), como medidas de densidade média ou como medidas do ponto de densidade, dependendo se elas expressam a média de toda a população ou a competição relacionada a uma árvore em particular. Segundo o mesmo autor, as medidas de densidade média mais usuais são:

- Número de árvores por hectare;
- Área basal;
- Densidade relativa;
- Índice de densidade do povoamento;
- Índice de espaçamento ou espaçamento relativo;
- Fator de competição da copa.

Segundo Zobel *et al.* (1987) a densidade de plantio influencia para a mesma espécie e mesmo sítio, o número de tratos culturais a serem efetuados, a taxa de

crescimento, o volume de madeira produzido, o sortimento de madeira, a taxa de mortalidade e dominância, a idade de estagnação do crescimento, as práticas de implantação, manejo e exploração e a qualidade da madeira.

Costas *et al.* (2005) afirmaram que os tratamentos que utilizam a densidade como variável produzem resultados que diferenciam a quantidade e qualidade dos produtos de um plantio. Com densidades altas em plantios de *Pinus taeda* L. se produzem fustes mais cilíndricos e com diâmetros menores, em relação às densidades baixas (DACOSTA, 2008).

Costas *et al.* (2001) observaram que menores densidades de plantio inicial produziram maiores DAP médios, e maiores volumes por unidade de superfície na idade de 8 anos. Em maiores densidades de plantas, a competição inicia-se mais cedo, sendo que os ramos mais finos secam e caem mais facilmente (KRONKA *et al.*, 2005).

Fishwick (1976) destacou como vantagens do uso de espaçamentos menores os seguintes fatores:

- Alta produção de volume total em menor tempo;
- Plantios de reposição desnecessários, devido ao número elevado de plantas;
- Rápidos rendimentos financeiros provenientes de desbastes (onde existe mercado);
- Menores galhos e menor conicidade de fuste;
- Rápido fechamento do dossel, reduzindo o surgimento de plantas invasoras.

Para Taylor (1969), existem vantagens no uso de um espaçamento inicial reduzido, uma vez que proporciona um número elevado de árvores jovens, permitindo uma boa seleção das melhores, na ocasião das primeiras operações de limpeza e desbaste. Um espaçamento menor promove um processo eficiente de desrama natural, do que resulta madeira de boa qualidade a ser obtida no estágio final de manejo do povoamento, no caso do eucalipto (BERGER, 2000).

Para escolha do espaçamento adequado, existe a necessidade de se considerar a qualidade e o peso-volume de madeira que será produzido, local (sítio), hábitos de crescimento, espécie, sobrevivência esperada, objetivos do produto,

futuros tratamentos silviculturais e o tipo de equipamento a ser empregado na implantação e colheita do povoamento (COUTO, 1977).

Normalmente, as espécies de rápido crescimento juvenil, podem ser plantadas em espaçamentos maiores que as de crescimento lento (BOTELHO, 1998).

Do ponto de vista silvicultural, os plantios com menor espaçamento atingem mais rapidamente a capacidade do sítio, com a diminuição das dimensões dos produtos obtidos (ASSMANN, 1970).

Para Botelho (1998) as empresas reflorestadoras têm escolhido os espaçamentos visando possibilitar a mecanização das atividades de implantação, manutenção e exploração. A preferência tem sido para espaçamentos com distância entre linhas em torno de 3,0 m, o que possibilita a movimentação de veículos para efetuar capina e remoção de árvores nos desbastes com pouco risco de causar danos às plantas.

De acordo com Kronka *et al.* (2005), os espaçamentos de plantios estabelecidos à época dos incentivos fiscais para reflorestamento eram de 1,5 m x 1,5 m, 2,0 m x 2,0 m e 2,0 m x 2,5 m, correspondendo a uma densidade de plantio de 4.444, 2.500 e 2000 mudas por hectare. Os mesmos autores ainda relataram que atualmente são comuns espaçamentos mais amplos: 3,0 m x 2,0 m, 3,0 m x 3,0 m ou 3,0 m x 3,5 m.

Suassuna (2006) recomendou a utilização de 4,5 a 6,0 metros quadrados de terreno para cada planta, usando espaçamento 3,0 m x 2,0 m; 2,0 m x 2,5 m; 3,0 m x 1,5 m, para o plantio de *Pinus*.

Na produção de madeira para serraria são usados espaçamentos mais largos com o objetivo de se obter madeira de maiores dimensões, mas isso favorece a formação de galhos maiores e em maior quantidade, vindo a representar mais e maiores nós na madeira (FINGER *et al.*, 2001). Neste aspecto, Inoue *et al.* (2009) comentaram que o espaço vital de crescimento pode afetar também o diâmetro dos ramos, onde ramos mais grossos foram observados em espaços mais largos, em seu estudo com *Pinus taeda* L.

Segundo Toumey e Korstian (1967) os espaçamentos mais praticados na Europa são os mais fechados, onde se considera que apresentam possibilidade de

lucro com os desbastes iniciais, menor necessidade de manutenção e maior proteção do solo. Estes autores também comentaram que, apesar da grande dependência de espécie e sítio, nos Estados Unidos, o espaçamento de aproximadamente 2,0 m x 2,0 m é o mais aceitável para a maioria das espécies e condições; entretanto espaçamentos entre 3,3 a 6,0 m² por planta são normalmente recomendados.

Smith e Strub (1991) consideraram que, para as espécies de pinus da região sul dos Estados Unidos, os melhores espaçamentos estão na faixa de 2,4 m x 2,4 m a 3,0 m x 3,0 m que proporcionam um número entre 1.000 a 1.600 árvores por hectare. Os autores relataram que este estoque é baixo o suficiente para produzir árvores de tamanho adequado e um bom volume por hectare em rotações de 20 a 30 anos em sítios bons sem desbaste, mas são altos o bastante para permitir um ou dois desbastes se as condições de mercado são garantidas.

Para Botelho (1998), a manutenção de uma mesma densidade com variação na distribuição pode resultar em diminuição do custo do plantio e melhor crescimento de algumas espécies em função de suas respostas a variação nas relações de competição. Por exemplo, um plantio com cerca de 9,0 m² por planta pode ser plantado em arranjos de 3,0 x 3,0 m; 6,0 x 1,5 m e 9,0 x 1,0 m, onde se verifica nesta ordem, uma redução no custo do preparo de solo e aumento na incidência de luz na entrelinha, o que pode implicar em mudanças das respostas das plantas em relação à produtividade e qualidade da madeira.

Para Zobel *et al.* (1987) os povoamentos para celulose, escoras de minas, produção de carvão e postes são plantados em espaçamentos menores, enquanto que plantios para madeira serrada são feitos em espaçamentos mais amplos. Simões (1994) recomendou o uso de densidades que proporcionem uma área por planta acima de 6,0 m² para obtenção de postes, dormentes e toras, para eucalipto.

Segundo Maestri (1994), para o sistema de manejo denominado “*clearwood*” que visa à produção de madeira de maiores dimensões e livres de nós, o ideal é o plantio de poucas árvores por hectare, com desbastes pré-comerciais. As densidades iniciais, neste caso variam de 900 a 1300 árvores por hectare (11,0 a 7,7 m²/planta) e, aos 3 ou 4 anos é feito um desbaste pré-comercial reduzindo o número de árvores para 500-800 plantas por hectare.

Para Schonau (1984) quando o objetivo do manejo é a obtenção de madeira para serraria ou postes, o espaçamento de plantio não deve ser menor que 3,0 m x 2,5 m. Este autor recomendou densidade inicial de 1.200 a 2.000 plantas por hectare, para eucalipto.

Inoue *et al.* (2011b) relataram que pode-se utilizar um espaçamento inicial de 1,0 m² por árvore (10.000 árvores por hectare) se o objetivo for a maior ocupação espacial e consequentemente maior biomassa de fuste (representada pela área basal), independente do diâmetro das árvores. Já para a obtenção de árvores com diâmetros maiores, esses autores recomendaram a utilização de espaços vitais mais largos, com até 12,0 m² por árvore (833 árvores por hectare), em estudo para *Pinus taeda* L., na idade de sete anos.

3.4. BIOMASSA FLORESTAL

As árvores produzem biomassa pelo processo de fotossíntese. O acúmulo de biomassa é diferente de local para local e de indivíduo para indivíduo, e esta variação é reflexo dos diversos fatores ambientais aos quais a planta está sujeita, além dos fatores inerentes à própria planta (SOARES *et al.*, 2011).

Para Sanquetta e Balbinot (2004), a rigor, biomassa quer dizer massa de matéria de origem biológica, viva ou morta, animal ou vegetal. Já para Odum (1986), biomassa pode ser definida como a massa orgânica produzida por unidade de área, podendo ser expressa em peso de matéria seca, peso de matéria úmida e peso de carbono.

Segundo Alemdag (1980) e Wendling (1998), o termo biomassa florestal refere-se à quantidade constituída por organismos no ecossistema florestal em termos de massa. Para Caldeira (2003), o termo biomassa representa a matéria orgânica armazenada em um determinado ecossistema, pois especifica o valor numérico dos componentes presentes, além de ser fundamental nos estudos de ciclagem de nutrientes, conversão de energia, absorção e armazenamento de energia solar.

As quantidades de biomassa e carbono presentes na parte aérea e no sistema radicular de uma árvore podem ser obtidas pelo método destrutivo (método direto) ou pelo método indireto (SALATI, 1994; SANQUETTA, 2002).

Segundo Sanquetta e Balbinot (2004) métodos diretos implicam em determinações, enquanto métodos indiretos geram estimativas. Neste aspecto, os autores comentaram que, determinação significa uma medição real feita diretamente na biomassa, por exemplo, a pesagem de um fuste inteiro por meio do uso de um dinamômetro ou de uma balança gera a sua determinação de biomassa. Quando este procedimento não é efetuado de maneira direta, então são realizadas estimativas através de relações quantitativas ou matemáticas, como razões ou progressões.

3.4.1. Método direto ou destrutivo

A utilização do método direto implica, necessariamente, a seleção e derrubada de árvores-amostra para obtenção dos dados (SOARES *et al.*, 2011).

Os métodos de amostragem para avaliação de biomassa florestal podem ser enquadrados em duas categorias: método da árvore individual e método da parcela. Sanquetta e Balbinot (2004) relataram que, no primeiro caso, árvores-amostra são eleitas para que determinações diretas (corte e pesagem) de biomassa sejam realizadas. Já na segunda categoria, uma determinada unidade de área é predefinida e toda biomassa ali contida é determinada.

Segundo Pardé (1980) a determinação de biomassa de árvores individuais pode ser efetuada mediante a seleção de uma árvore média, sendo este método denominado *Mean tree method*. Para se conhecer a árvore média, é preciso realizar um inventário florestal previamente e calcular o diâmetro ou a área seccional ou transversal desta árvore (SANQUETTA e BALBINOT, 2004).

Outra técnica para determinação de biomassa em árvores individuais chamada técnica do corte estratificado (*stratified clip technique*) foi citada por OGAWA e KIRA (1977), que, consiste na execução do corte raso em um pequeno ponto amostral no interior da floresta a ser estudada, dividindo-se a parte de cima do solo em 10 ou mais estratos paralelos à superfície do solo, e todas as árvores dentro

do ponto são cortadas em partes dentro do respectivo estrato, e pesadas as folhas, ramos e caule pertencentes a cada estrato separadamente.

De acordo com Sanquetta e Balbinot (2004) uma variação bastante empregada, especialmente para florestas de estrutura mais complexa, é a adoção de árvores representativas por classes diamétricas ao invés de uma única dimensão (árvore média), o que significa dizer que será derrubado e pesado um determinado número de árvores para cada amplitude diamétrica, abrangendo toda a distribuição de classes existentes na floresta.

Para Soares *et al.* (2011) a seleção de árvores-amostra para obtenção de dados para o estudo da biomassa da parte aérea e do sistema radicular baseia-se, fundamentalmente, em três procedimentos básicos:

- Seleção de um número de árvores igualmente repartidas em classes ou categorias de tamanho relativo às características do povoamento (DAP, altura, classe de copa, etc.).
- Seleção de um número de árvores proporcionalmente às respectivas frequências nas classes ou categorias de tamanho.
- Seleção de árvores baseadas em parâmetros fitossociológicos, no caso de florestas tropicais naturais.

Neste contexto, Valério (2009) avaliando a produção de biomassa em diferentes idades, derrubou 5 árvores em cada idade (1 a 25 anos), totalizando 125 indivíduos selecionados de acordo com a distribuição diamétrica dos povoamentos de *Pinus elliottii* Eng.

Silva (1983), avaliando a produção de biomassa do tronco de cinco espécies de eucalipto, distribuiu as árvores do povoamento em três classes de copa: árvores dominantes, codominantes e dominadas, para determinação de biomassa do tronco.

Ferreira (1984), avaliando a produção de biomassa e ciclagem de nutrientes da parte aérea e radicular de povoamentos de *Eucalyptus grandis*, em diferentes idades e sítios, e Finke Herrera (1989), em estudo sobre a densidade da madeira e equações de peso de matéria seca da madeira de eucalipto, estratificaram o povoamento em classes de DAP e selecionaram de três a cinco árvores por classe. Também, Pereira (1990) e Molica (1992) selecionaram respectivamente, duas e três árvores de diâmetros médios para avaliar a produção de biomassa.

Schumacher *et al.* (2002) utilizaram o método da árvore individual, onde foram inventariadas algumas parcelas, divididas em classes de diâmetro e selecionada a árvore média de cada classe, sendo esta avaliada quanto a biomassa em seus distintos componentes. Neste sentido, Macdicken (1997) relatou que, quando se utiliza o método da árvore média de cada classe diamétrica, aumenta-se a precisão do método, sendo assim calculada a biomassa separadamente para cada classe, para na sequência, obter-se a biomassa total da área.

O método da parcela implica em cortar e pesar toda a biomassa de uma área predefinida, o que é seguramente muito mais trabalhoso de ser realizado do que o método da árvore individual (SANQUETTA e BALBINOT, 2004). Para Pardé (1980), este método pode ser realizado através do procedimento denominado corte total (*harvest method*) que consiste na determinação da biomassa da floresta pelo corte e pesagem de todas as frações (inclusive raízes), ou amostragem em múltiplos estágios (*multi-stage sampling*) que consiste no corte de todos os indivíduos presentes na parcela e pesagem de todos os caules. Para as demais porções são realizadas determinações apenas para alguns indivíduos estabelecendo uma relação de quantidades entre os dois grupos (SILVEIRA, 2008).

Dentro do compartimento estrato arbóreo, acima do solo, Vismara (2009) relatou que, o método direto de determinação da biomassa pode ser aplicado na árvore como um todo ou com a separação dos seus distintos componentes (fuste, galhos e folhas). O componente fuste, seguramente, compõe a fração mais representativa da biomassa na árvore e da biomassa florestal, sendo que sua determinação, assim, deve ser realizada da forma mais precisa possível (SANQUETTA, 2002).

De acordo com Higuchi e Carvalho Junior (1994), em campo são obtidos separadamente os pesos verdes para o tronco, galhos, folhas e serragens produzidas pela divisão do tronco e galhos. Na sequência, deve-se retirar discos de aproximadamente 3 cm de espessura do tronco e dos galhos em alturas relativas ao comprimento total e um disco na altura do DAP. As amostras do tronco, galhos grossos, galhos finos, folhas e discos devem ser colocados em estufa até estabilizarem-se em peso para a obtenção do peso seco.

Segundo Soares *et al.* (2011), embora existam diferentes metodologias para a determinação da biomassa do fuste, incluindo a madeira e a casca, a seguinte metodologia apresenta maior operacionalidade, bem como menor custo na coleta:

- Cubar rigorosamente o fuste da árvore para obter o volume com casca, o volume sem casca e o volume de casca.
- Retirar discos de madeira de 2,5 cm de espessura a 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial da árvore.
- Retirar, de cada disco, amostras (cunhas) contendo casca e madeira para a determinação, em laboratório, da densidade básica média da madeira e da casca do fuste.

De acordo com Soares *et al.* (2011), a sequência de passos que devem ser seguidos na determinação da biomassa de folhas em uma árvore é:

- Derrubar a árvore e pesar todo o conjunto de folhas para obter o peso total úmido no campo.
- Retirar uma amostra de peso conhecido do conjunto de folhas.
- Levar a amostra de folhas ao laboratório para a determinação do peso de matéria seca.

No caso dos galhos, os autores relataram que a amostra que será levada ao laboratório deverá ser composta de fragmentos de galhos localizados em diferentes posições da copa da árvore. Além disso, a temperatura de secagem dos galhos deverá ser de aproximadamente 103 ± 2 °C. Quanto a amostragem de flores e frutos, segue-se o mesmo passo para a determinação da biomassa de folhas.

Segundo Sanquetta e Balbinot (2004) os procedimentos de campo usados nas determinações de biomassa de florestas podem variar amplamente, segundo os objetivos e as restrições técnicas e orçamentárias atinentes ao trabalho.

Os dados gerados no processo de determinação da biomassa pelo método da árvore individual são utilizados, geralmente, no ajuste de relações alométricas que irão gerar estimativas de biomassa em grandes áreas pelos métodos indiretos (SANQUETTA, 2002). Entende-se que os métodos indiretos são baseados nos dados produzidos no processo de determinação da biomassa em áreas de menores dimensões. Neste aspecto, Vismara (2009) comentou que, a precisão das

estimativas depende, dentre outros fatores, da precisão do método direto usado para a determinação da biomassa florestal.

3.4.2. Método indireto

Sabe-se que este método é preferencialmente utilizado por facilitar o trabalho de campo e diminuir o custo na coleta de dados. Para isso, são empregados modelos de regressão, lineares ou não lineares, cujas variáveis independentes são as características diretamente mensuráveis das árvores-amostra (diâmetro, altura...) e as variáveis dependentes, a biomassa expressa pelo peso de matéria seca dos seus componentes e a quantidade de carbono (SOARES *et al.*, 2011).

Para Koehler *et al.* (2002), o método indireto é o procedimento mais comum em avaliações de biomassa e carbono, no qual algumas árvores são amostradas, o peso de cada componente é determinado e relacionado por meio de regressão com variáveis dendrométricas.

Segundo Salati (1994), os métodos indiretos são utilizados para estimar a biomassa de áreas florestais de grande extensão e, dependendo das informações disponíveis, são usadas relações empíricas entre a biomassa e algumas outras variáveis, determinando assim o valor da biomassa seca por hectare para então ser efetuada uma extrapolação para a área total de interesse.

Para estimar a biomassa de árvores individuais, de acordo com Campos e Valente (1993), as variáveis independentes mais utilizadas nos modelos são o diâmetro com casca a 1,30 m (DAP) e a altura total. Outras variáveis são ocasionalmente utilizadas, como idade, índice de sítio, diâmetro e altura de copa (SOARES *et al.*, 2011).

Pinheiro (1980) testou 15 variáveis independentes para estimar o peso (biomassa) dos diversos componentes das copas de *Pinus oocarpa* e *Pinus caribea* var. *hondurensis* no município de Sacramento, Minas Gerais, e concluiu que o DAP foi a variável simples mais eficiente para todas as estimativas, para as duas espécies estudadas.

Segundo Ogawa e Kira (1977), estudos desenvolvidos no Japão sobre biomassa florestal têm principalmente envolvido o uso extensivo de alometria entre

as diferentes dimensões de uma árvore conjuntamente com determinações por meio da técnica de dissecação. Para esses autores, a lei da alometria formula a relação entre duas dimensões conforme a expressão (1):

$$y = A * x^k \quad (1)$$

Em que:

A , k = constantes específicas.

De acordo com Sanquetta e Balbinot (2004), as relações de biomassa são expressas conforme a equação (2):

$$p = A * x^k \quad (2)$$

Em que:

p = peso de biomassa;

x = diâmetro à altura do peito (dap) ou dap^2h .

Essa relação é universal e geralmente válida para qualquer relação entre as frações de biomassa, podendo ser usada para estimativa da biomassa do fuste, de galhos e outros componentes da árvore, entretanto neste caso, as relações são menos estáveis, alterando-se com características intrínsecas da floresta (OGAWA e KIRA, 1977).

Rosot (1980) utilizando relações alométricas em seu estudo com *Pinus taeda* L., relatou que as variáveis que apresentaram maior correlação simples com a variável peso de madeira seca em ordem decrescente foram o DAP com casca, a altura comercial e a altura total.

Para Sanquetta e Balbinot (2004), a relação alométrica é uma boa maneira de relacionar a biomassa e outras variáveis da floresta, mas outras funções também vêm sendo propostas para o uso por diferentes autores.

Segundo Silveira (2008), as técnicas de sensoriamento remoto também têm sido amplamente utilizadas em estudos na área florestal, uma vez que é possível estimar parâmetros biofísicos como biomassa, carbono e volume de madeira, pelas propriedades espectrais dos componentes da vegetação (fuste, folhas, etc.). Neste âmbito, Watzlawick *et al.* (2002) relataram que, a conciliação de trabalhos de campo e dados de imagem devem ser incorporados em ambientes do sistema de

informações geográficas (SIG), obtendo-se assim um melhor aprimoramento, visualização e maior agilidade nos processos de consulta às informações, permitindo também associar essas informações a um banco de dados relacional.

3.5. CARBONO DE BIOMASSA FLORESTAL

A vegetação em muitos casos constitui-se como sumidouro, ou seja, pelo processo de fotossíntese, absorve o CO₂ da atmosfera e armazena carbono em sua biomassa, assim formando grandes reservatórios desse elemento (SILVEIRA *et al.*, 2008). As florestas são importantes para o equilíbrio do estoque global de carbono, pois armazenam na fitomassa e no solo mais carbono do que existe atualmente na atmosfera (MIRANDA, 2008).

Para Sanquetta e Balbinot (2004), um dos aspectos mais relevantes nos estudos de fixação de carbono em florestas é a variável biomassa, à qual precisa ser determinada e estimada de forma fidedigna, caso contrário não haverá consistência na quantificação do carbono fixado nos ecossistemas florestais.

Segundo Watzlawick *et al.* (2004) a absorção de dióxido de carbono se dá, em parte pelo período de tempo existente entre o crescimento inicialmente acelerado das plantas e a sua lenta decomposição pós-morte. Desse modo, as florestas são importantes para o equilíbrio do balanço global de gás carbônico, pois os diferentes tipos de florestas armazenam diferentes quantidades de carbono (MOGNON *et al.*, 2013).

Para Watzlawick e Kirchner (2004), o conhecimento dos teores de carbono presentes na biomassa é de fundamental importância para tornar possível a quantificação de um determinado ecossistema com relação ao carbono fixado, bem como para viabilizar uma avaliação adequada dos impactos que supostamente possam vir a provocar no ambiente, devido à retirada do material (biomassa). Os valores de carbono fixado pelas florestas podem variar enormemente de região para região, de acordo com a tipologia florestal, solos e com o manejo florestal (MIRANDA, 2008).

Em inventário realizado para estimar a quantidade de carbono orgânico em árvores de *Pinus taeda* aos 5 anos de idade, no Rio Grande do Sul, Balbinot *et al.*

(2003) encontraram 18,8 ton.ha⁻¹ de carbono orgânico. Naquele caso, tratava-se de um espaçamento 3,0 m x 2,0 m (6,0 m²/árvore), com 1600 árvores por hectare.

Sette Junior *et al.* (2006) realizaram um estudo com o intuito de quantificar a captura de carbono orgânico em povoamentos de *Pinus taeda* L., com idades distintas, de 5 a 26 anos, na região de Rio Negrinho, Estado de Santa Catarina, com dados de 157 árvores. Esses autores relataram que o total de carbono orgânico capturado, considerando o volume total de madeira por hectare de cada idade avaliada, foi de 6,5 ton.ha⁻¹ aos 5 anos, 82,2 ton.ha⁻¹ aos 12 anos, 109,9 ton.ha⁻¹ aos 18 anos, e 91,9 ton.ha⁻¹ na idade de 26 anos.

Schumacher *et al.* (2002) avaliando o estoque de carbono em povoamentos de *Pinus taeda* L., no Estado do Rio Grande do Sul, encontraram 18,7 ton.ha⁻¹ de carbono orgânico no povoamento com 5 anos de idade, 48,5 ton.ha⁻¹ de carbono orgânico no povoamento com 10 anos, 114,8 ton.ha⁻¹ de carbono orgânico no povoamento com 15 anos, e 133,4 ton.ha⁻¹ no povoamento com 20 anos de idade.

Balbinot *et al.* (2008), estudando a dinâmica do estoque de carbono em plantações de *Pinus spp.* em classes distintas de idade, em General Carneiro e Bituruna, Estado do Paraná, com uso do software SisPinus simulando a produção volumétrica para uma idade de rotação de 20 anos e estimando a produção de carbono utilizando equações alométricas, encontraram os seguintes resultados: 25,7 ton.ha⁻¹ de carbono em idades inferiores a 5 anos; 75,5 ton.ha⁻¹ em idades entre 5 e 15 anos e 102,7 ton.ha⁻¹ em idades superiores a 15 anos.

3.6. MODELAGEM DA BIOMASSA E DO CARBONO FLORESTAL

Giongo *et al.* (2011), estudando a biomassa de um plantio de *Pinus elliottii* Eng., aos 23 anos de idade no município de Rio Branco do Sul, Paraná, selecionaram o modelo (3) para estimativa da biomassa seca da área de estudo: $B = b_0 + b_1 * d^2 * h_t + \varepsilon$ (3). Em que: B = biomassa seca (Mg.ha⁻¹); d = diâmetro à altura do peito (cm); h_t = altura total (m); b_0 , b_1 e b_2 = coeficientes; ε = erro aleatório. Segundo os autores o ajuste foi satisfatório, com um coeficiente de determinação de 0,9 e erro padrão da estimativa de 11,1%.

Valério (2009) em estudo, com o objetivo de quantificar e modelar a biomassa e o carbono em plantações de *Pinus elliottii* Eng. com diferentes idades no município de Clevelândia, Paraná, ajustou 17 modelos matemáticos (13 aritméticos e 4 logarítmicos) considerando cada um dos componentes da árvore, bem como para a árvore inteira. Segundo o autor, dentre os modelos testados, os melhores ajustes foram obtidos com o modelo (4): $y = b_0 d^b + \varepsilon$, que em geral apresentou estatísticas dentro dos limites aceitáveis, tanto para biomassa como para o peso de carbono.

Wojciechowski *et al.* (2003) ajustaram diversos modelos lineares encontrados na literatura florestal, dos quais escolheram os de melhor ajuste para a estimativa de biomassa e carbono em uma floresta de *Pinus elliottii* Eng., aos 19 anos de idade, em Santa Maria, no Rio Grande do Sul. Estes autores selecionaram o modelo (5): $y = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + \varepsilon$, para madeira, casca e galhos, e, o modelo (6): $\ln y = b_0 + b_1 \ln d + \varepsilon$, para o componente acícula.

Balbinot *et al.* (2008) utilizaram equações alométricas desenvolvidas pelo laboratório de inventário florestal da Universidade Federal do Paraná, para estimar a biomassa dos diferentes compartimentos da árvore, em seu estudo em plantações de *Pinus spp.*, em diferentes idades no sul do estado do Paraná.

Urbano (2007), em trabalho visando à estimativa da biomassa e do carbono para *Mimosa scabrella* Benth., testou 20 modelos para cada componente da árvore (fuste, galhos e folhas), sendo dois obtidos pelo processo de seleção *stepwise*, 12 aritméticos e 8 logarítmicos. O autor utilizou em seus ajustes, como variáveis independentes o diâmetro a altura do peito (d), altura total (h), altura do fuste (hf), altura de copa (hc), diâmetro de copa (dc) e a combinação destas variáveis. Para a biomassa (peso seco total), a equação (7) que apresentou as melhores estatísticas foi $ps = -5,1520 + 0,2041 * d^2 + 0,7603 * d_c h_c + 0,0100 * d^2 h + 0,0103 * d^2 d_c$, com $Syx\% = 22,7$ e $R^2 = 0,96$ e para a estimativa do peso de carbono foi a equação (8): $pc = -2,0397 + 0,0652 * d^2 + 0,2101 * d d_c + 0,0039 * d^2 h + 0,0035 * d^2 h_c$, com $Syx\% = 22,1$ e $R^2 = 0,96$.

Rezende *et al.* (2006), em trabalho realizado no Cerrado, ajustaram diversos modelos para estimativa da biomassa e do estoque de carbono. Para realização do referido estudo foram derrubadas e pesadas 174 árvores, e considerou-se um teor de carbono médio de 50%. Os autores citados relataram que o modelo (9):

$y = b_1 * d_b^2 h_t + \varepsilon$, apresentou coeficiente de determinação (R^2) de 0,98 e erro padrão da estimativa ($S_{yx}\%$) de 26,0%, tanto para biomassa como para o carbono, sendo este o modelo com melhores resultados.

No estudo realizado por Soares *et al.* (2005), foi utilizado o modelo de Schumacher e Hall (1933) na estimativa do carbono estocado no fuste de árvores de eucalipto (madeira seca em kg), com suas respectivas medidas de diâmetro a altura do peito (dap) e altura total (ht), conforme a expressão (10): $Ln y = b_0 + b_1 Ln dap + b_2 Ln ht + \varepsilon$, em que: Ln = logaritmo neperiano; b_0 , b_1 e b_2 = parâmetros do modelo; ε = erro aleatório.

O modelo proposto por Schumacher-Hall (1933) é um dos mais difundidos na área florestal devido às suas propriedades estatísticas, uma vez que resulta em estimativas quase sempre não tendenciosas (LEITE e ANDRADE, 2002; CAMPOS e LEITE, 2009). Bons resultados na estimativa de biomassa e carbono de árvores foram relatados nos estudos de Sanquetta *et al.* 2001; Soares e Oliveira, 2002; e Rezende, 2002.

Sanquetta (2002) salientou que, no ajuste de equações em estudo de biomassa e carbono, deve-se ter o cuidado sempre de avaliar com justiça as melhores equações, baseando-se na avaliação das estatísticas indicadoras de qualidade de ajuste (erro padrão da estimativa, coeficiente de determinação, etc.), além de um exame gráfico do comportamento dos resíduos.

4. MATERIAL E MÉTODO

4.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O experimento foi implantado em 2003, no Campus Universitário de Irati, na região Centro-Sul do Paraná, a 150 km da cidade de Curitiba, capital do estado. O município de Irati está localizado no cruzamento das coordenadas 25° 27' 56" de latitude Sul e 50° 37' 51" de longitude Oeste (FIGURA 1).



FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen é definido como Cfb Subtropical Úmido Mesotérmico, de verões frescos, geadas severas e frequentes, sem estação seca. A média das temperaturas dos meses mais frios são inferiores a 11°C e dos meses mais quentes inferiores a 24,2°C (SIMEPAR, 2013).

Geologicamente o solo pertence ao permiano carbonífero, com topografia marcada por encostas suaves intermediárias, encostas íngremes, vertentes retilíneas e topos planos; solos acinzentados/vermelhos ao Norte e castanhos ao Sul, predominando na região solos Silticos Argilosos, Litólicos e Coluviais (IRATI, 2013). Na área do experimento o solo foi classificado de acordo com o sistema brasileiro de classificação de solos (EMBRAPA, 2006) e definido como Neossolo Regolítico Distro úmbrico léptico (RRdh), com textura muito argilosa (LIMA *et al.*, 2009).

4.1.1. Caracterização do experimento

O experimento tem área total de 3,2 hectares (FIGURA 2), foi implantado com mudas de *Pinus taeda* L. oriundas de sementes de pomar clonal da empresa Klabin do Paraná. O preparo de solo da área experimental consistiu na passagem de grade florestal, seguida de coveamento com sacho. O controle de formigas cortadeiras foi realizado com o uso de iscas pouco antes do plantio e repetido uma vez durante o primeiro ano. Não foi feito nenhum tipo de adubação durante todo o experimento até a presente data. Durante os dois primeiros anos foram realizadas operações de coroamento e capina manualmente.



FIGURA 2 - ÁREA DO EXPERIMENTO.

Segundo Inoue *et al.* (2011b), em função da declividade do terreno, o experimento foi planejado usando delineamento em blocos ao acaso com cinco repetições, dispostos paralelamente à declividade. Para simular diferentes espaços vitais de crescimento, foram utilizados nove tratamentos de espaçamento entre plantas: 1,0 m x 1,0 m; 2,0 m x 1,0 m; 2,0 m x 2,0 m; 3,0 m x 2,5 m; 3,0 m x 3,0 m; 3,0 m x 3,5 m; 4,0 m x 3,0 m; 4,0 m x 3,5 m e 4,0 m x 4,0 m, que proporcionaram espaços vitais para cada árvore, respectivamente, de: 1,0 m²; 2,0 m²; 4,0 m²; 7,5 m²; 9,0 m²; 10,5 m²; 12,0 m²; 14,0 m² e 16,0 m². A FIGURA 3 mostra a disposição dos blocos e parcelas do experimento.

Inoue *et al.* (2011b) relataram que, em virtude das características do terreno, o experimento foi implantado em parcelas de dimensões distintas, considerando, no sentido do bloco, independentemente do tratamento a quantidade fixa de oito árvores. Assim, por exemplo, o tratamento 1 (1,0 m x 1,0 m) tem sete metros de distância entre a primeira e a oitava planta, enquanto que o tratamento 9 (4,0 m x 4,0 m) tem 28 metros de distância entre a primeira e a oitava planta. No sentido entre blocos, as parcelas têm comprimento fixo de 28 metros e quantidade diferente de plantas em função do tratamento.

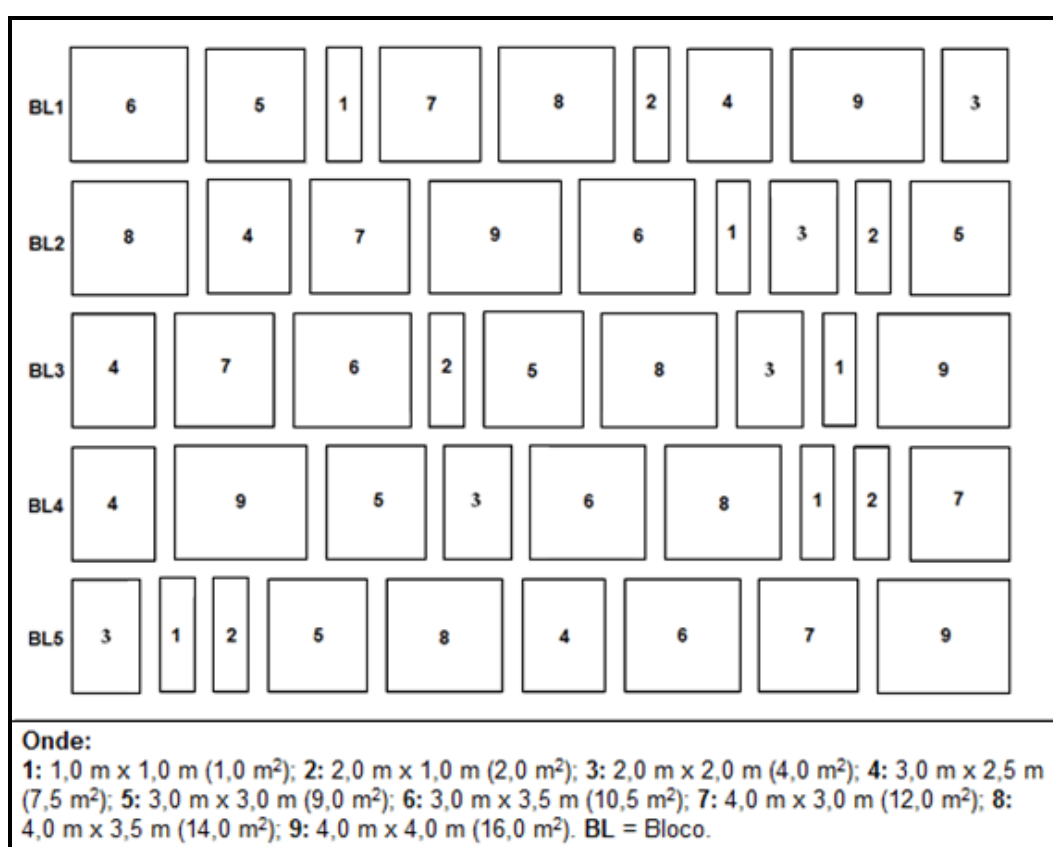


FIGURA 3 - DISPOSIÇÃO DAS PARCELAS DO EXPERIMENTO E DIMENSÕES PROPORCIONAIS DE OCUPAÇÃO DO ESPAÇO NO TERRENO.

Na TABELA 1 constam informações referentes à densidade inicial, mortalidade e sobrevivência, conforme avaliação realizada na área por Pacheco (2013).

TABELA 1 - TRATAMENTOS E RESPECTIVAS INFORMAÇÕES DE DENSIDADE INICIAL, MORTALIDADE E SOBREVIVÊNCIA.

Tratamento	Espaçamento (m x m)	Espaço vital (m ²)	Densidade inicial (árv.ha ⁻¹)	Mortalidade (árv.ha ⁻¹)	Sobrevivência (árv.ha ⁻¹)
1	1,0 x 1,0	1,0	10.000	4.800	5.200
2	2,0 x 1,0	2,0	5.000	640	4.360
3	2,0 x 2,0	4,0	2.500	120	2.380
4	3,0 x 2,5	7,5	1.333	0	1.333
5	3,0 x 3,0	9,0	1.111	35	1.076
6	3,0 x 3,5	10,5	952	8	945
7	4,0 x 3,0	12,0	833	7	827
8	4,0 x 3,5	14,0	714	0	714
9	4,0 x 4,0	16,0	625	5	620

4.2. AVALIAÇÕES DENDROMÉTRICAS

Em 2012, nos meses de janeiro e fevereiro, nove anos após o plantio, realizou-se a remedição das árvores do experimento. Foram tomados dados de altura total com uso de um clinômetro eletrônico Haglôf e do diâmetro a 1,3 m do solo (DAP), com uma suta. Tratando-se de um experimento em blocos ao acaso, optou-se por realizar uma análise estatística prévia dos dados de altura total e DAP, com intuito de verificar a existência de diferença entre blocos. Como a análise de variância aplicada aos dados de altura total e DAP, ao nível de $\alpha = 0,05$, não revelou diferença estatística significativa entre blocos, utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado para as análises do presente estudo, onde, considerou-se, devido aos resultados preliminares, um mesmo sítio.

As informações coletadas serviram como base para gerar a distribuição de diâmetros, conforme a equação (11), onde os valores de DAP foram agrupados em classes de frequência, sendo o número de classes obtido pelo princípio proposto por Sturges.

$$N_c = 1 + 3,3 \log n_1 \quad (11)$$

Em que:

N_c = número de classes de DAP;

\log = logaritmo decimal;

n_1 = número de observações.

O intervalo de classes de diâmetro foi obtido pela expressão (12):

$$I_c = \left(\frac{d_{m\acute{a}x} - d_{m\acute{i}n}}{N_c} \right) \quad (12)$$

Em que:

I_c = intervalo de classe;

$d_{m\acute{a}x}$ = diâmetro máximo;

$d_{m\acute{i}n}$ = diâmetro mínimo;

N_c = número de classes de DAP.

Os dados de DAP de cada tratamento (espaçamento) foram separados em nove classes. Em cada tratamento foram selecionadas e marcadas em campo nove árvores, ou seja, uma árvore em cada classe diamétrica, visando a cubagem rigorosa e determinações de biomassa e carbono, totalizando 81 árvores distribuídas na área do ensaio. Como critério prévio estabelecido, foram avaliadas somente árvores que não apresentavam falhas ao seu redor, sendo então selecionadas apenas árvores que sofreram processo normal de competição.

4.2.1. Área transversal e área basal

A área transversal de cada árvore, para cada espaçamento foi calculada por meio da expressão (13):

$$g = \frac{\pi \cdot DAP^2}{40.000} \quad (13)$$

Em que:

g = área transversal (m²);

DAP = diâmetro a 1,3 m do solo (cm);

π = constante (3,141592654).

Para obtenção da área basal, os valores médios de área transversal por espaçamento foram multiplicados pelo número estimado de árvores por hectare, descontando a mortalidade estimada, conforme os valores apresentados para cada tratamento na TABELA 1.

4.2.2. Volume individual e volume por hectare

As 81 árvores previamente marcadas em campo foram derrubadas ao nível do solo, entre os meses de março e julho de 2012. Em seguida, realizou-se a retirada dos galhos para facilitar as medições, conforme FIGURA 4.



FIGURA 4 – PROCESSO DE COLETA DE DADOS PARA CUBAGEM. A: ABATE DA ÁRVORE RENTE AO SOLO; B: RETIRADA DOS GALHOS; C: MEDIÇÃO DA ALTURA TOTAL E MARCAÇÃO DOS DIÂMETROS AO LONGO DO FUSTE; D: MEDIÇÃO DOS DIÂMETROS COM A SUTA.

Tomou-se a altura total de cada árvore com uma trena. Efetuou-se o cálculo das alturas relativas para posterior marcação e mensuração dos diâmetros. As medidas para cubagem rigorosa foram tomadas nas alturas absolutas 0,10 m e 1,30

m; e a 15%, 25%, 35%, 45%, 55%, 65%, 75%, 85% e 95% da altura total de cada árvore sendo devidamente anotadas em fichas de campo.

Para o cálculo do volume de cada seção após obtenção dos diâmetros nas alturas relativas ao longo do fuste utilizou-se o método de Smalian, conforme descrito por Machado e Figueiredo Filho (2006). O volume da última seção ou volume da ponta (v_p) foi calculado assumindo o formato de um cone, conforme a expressão (14):

$$v_p = \frac{g_n \cdot l_p}{3} \quad (14)$$

Desta forma, o volume do fuste da árvore (v) foi obtido pela soma dos volumes de todas as seções ao longo da altura total da árvore, que neste caso, é expressa pela equação (15):

$$v = \left[\left(\frac{g_1 + g_2}{2} \right) \cdot l \right] + \left[\left(\frac{g_2 + g_3}{2} \right) \cdot l \right] + \dots + \left[\left(\frac{g_{n-1} + g_n}{2} \right) \cdot l \right] + v_p \quad (15)$$

Em que:

v = volume do fuste (m^3);

g_1 = área transversal na base da seção (m^2);

g_2 = área transversal no topo da seção (m^2);

l = comprimento da seção (m);

d_1 = diâmetro com casca na base da seção (cm);

d_2 = diâmetro com casca no topo da seção;

v_p = volume da ponta (m^3).

O volume por hectare foi obtido multiplicando-se o volume individual médio pelo número estimado de árvores por hectare.

4.3. DETERMINAÇÕES DE BIOMASSA E CARBONO

Simultaneamente ao processo de cubagem rigorosa, realizou-se a determinação da biomassa aérea das 81 árvores de *Pinus taeda* L., utilizando-se o método destrutivo. Após a derrubada, cada árvore foi segmentada em: fuste com casca, galhos vivos, galhos mortos e acículas verdes. Estes componentes foram

pesados separadamente, com auxílio de uma balança digital de gancho com capacidade máxima de 150 kg. Assim, o peso verde de biomassa foi obtido para cada componente (FIGURA 5), que na sequência foi pesado e separado em porções amostrais. Considera-se que a técnica gravimétrica produz melhor determinação de biomassa, uma vez que a medida da massa verde pode ser realizada com grande precisão e acurácia (VISMARA, 2009).



FIGURA 5 – PROCESSO DE COLETA DE DADOS. A: RETIRADA DAS ACÍCULAS DOS GALHOS; B: GALHOS MORTOS; C: GALHOS VIVOS; D: PESAGEM DO MATERIAL.

Para amostragem do fuste (madeira do fuste + casca) foram retirados três discos em pontos relativos à altura da árvore, sendo o primeiro a 0% (disco da base), 50% (disco do meio) e 90% (disco do topo). Os discos amostrados do fuste tiveram a casca separada da madeira, para obter-se assim o peso de cada

componente separadamente. A quantificação do peso total da casca de cada indivíduo foi realizada por relações de fator de casca.

Para amostragem dos galhos vivos e galhos mortos, foram retiradas amostras em todos os diâmetros e em todas as alturas da copa. No caso das acículas, foram retiradas amostras na base, meio e ponta da copa.

As amostras de todos os componentes das árvores foram imediatamente acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados e pesadas com uso de uma balança analítica digital, com precisão de 0,1 g para posterior determinação em laboratório do teor de umidade. A FIGURA 6 ilustra a etapa de preparo das amostras para obtenção do peso verde.

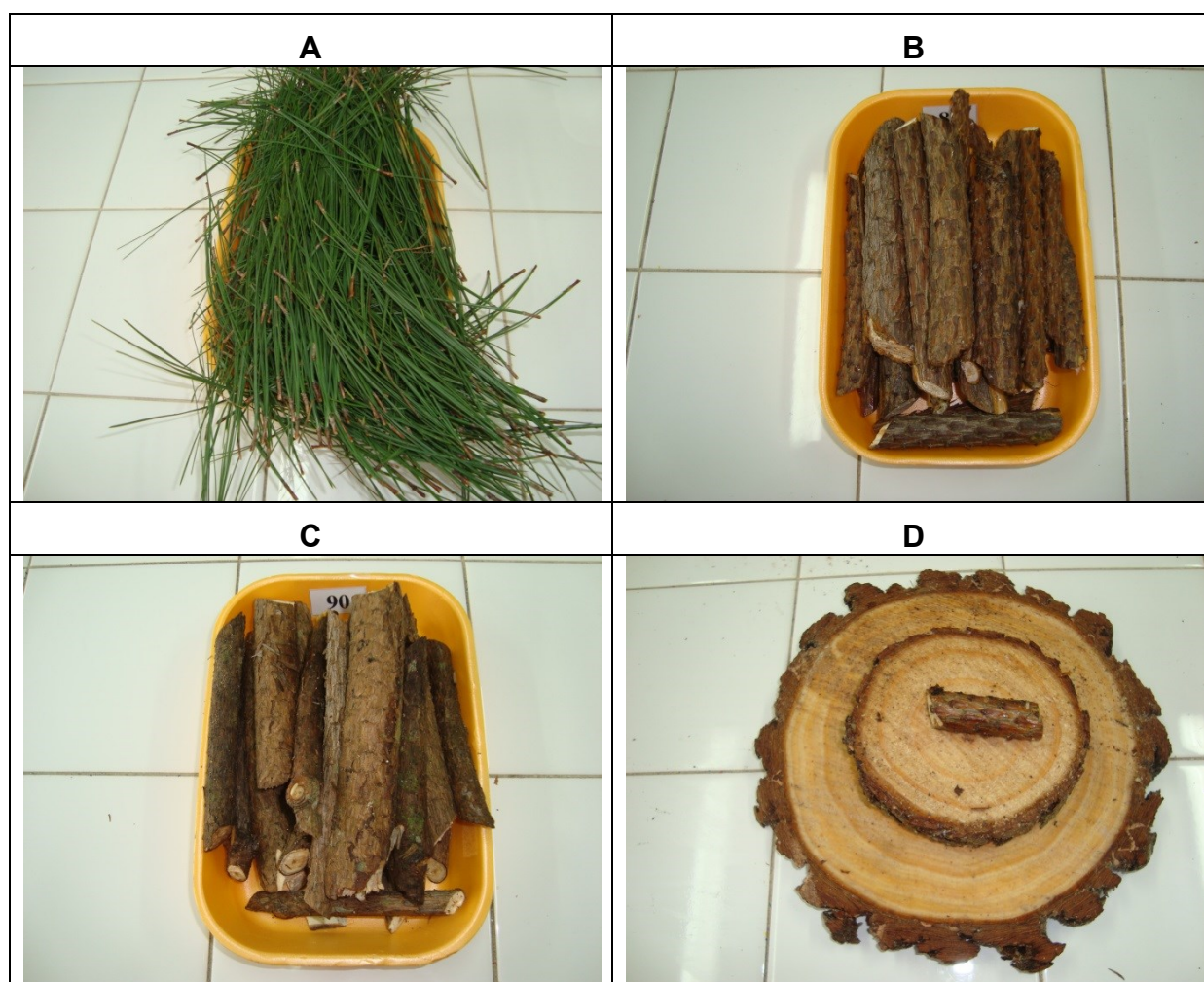


FIGURA 6 – PROCESSO DE PREPARO DAS AMOSTRAS. A: ACÍCULAS; B: GALHOS VIVOS; C: GALHOS MORTOS; D: FUSTE COM CASCA.

O material amostrado foi conduzido ao Laboratório de Dendrometria e Manejo Florestal da Universidade Estadual do Centro-Oeste, campus de Irati, onde foi colocado em recipiente adequado, identificado e conduzido à estufa de circulação e renovação de ar, a uma temperatura de 80°C, até atingir peso constante. Posteriormente, o material foi retirado da estufa e pesado novamente para obtenção do seu peso seco, conforme mostra a FIGURA 7.

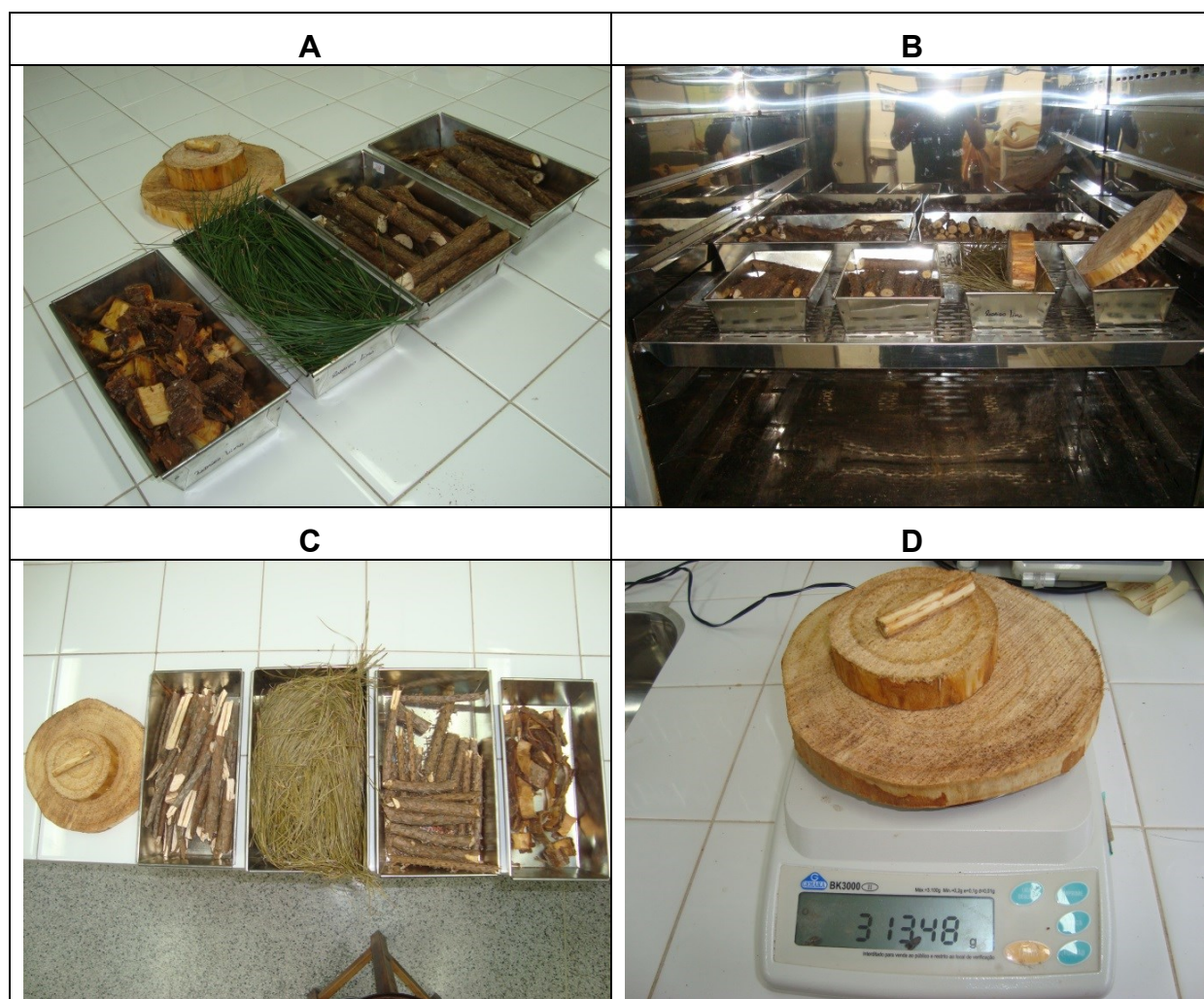


FIGURA 7 – PROCESSO DE OBTENÇÃO DO PESO SECO DAS AMOSTRAS. A: MATERIAL VERDE; B: AMOSTRAS NA ESTUFA; C: MATERIAL SECO; D: PESAGEM DA AMOSTRA DO FUSTE SEM CASCA SECO.

O material foi triturado em um moinho de facas com peneira, colocado em recipientes plásticos identificados e posteriormente enviado ao laboratório para análise. A determinação dos teores de carbono em tecido vegetal foi realizada no

Centro de Excelência em Pesquisas sobre Fixação de Carbono na Biomassa: BIOFIX, do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná.

Para determinação do teor de carbono total das amostras, foi utilizado um equipamento específico para análise de carbono: o analisador de carbono LECO, modelo C-144, o qual possui um software para registro digital dos resultados, conforme FIGURA 8.

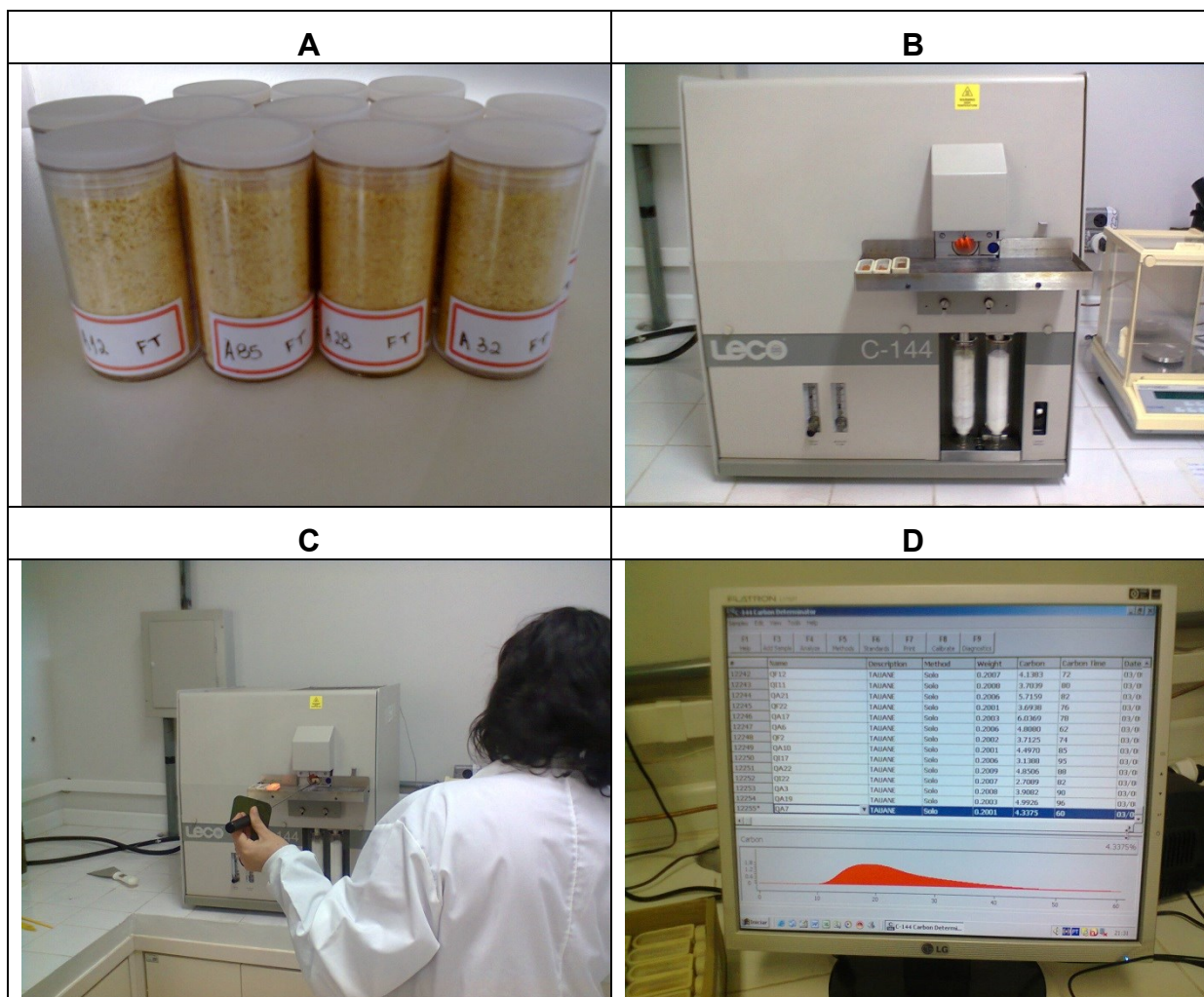


FIGURA 8 – PROCESSO DE OBTENÇÃO DO CARBONO ELEMENTAR. A: AMOSTRAS DO MATERIAL TRITURADO; B: APARELHO LECO C-144; C: INTRODUÇÃO DO MATERIAL NO APARELHO; D: TEORES DE C NO MONITOR.

O equipamento analisa o carbono pela combustão total, na qual a amostra é submetida à temperatura de 1.000°C por cerca de 60 segundos. Nesse método, a amostra de material sólido é levada à combustão, sendo que um sensor detecta a

quantidade de dióxido de carbono (CO₂) gerado, relacionando automaticamente com a quantidade de carbono elementar existente na amostra.

4.3.1. Processamento dos dados

De posse dos dados provenientes da biomassa verde e os teores de umidade para cada componente de cada árvore avaliada, efetuou-se o cálculo da biomassa seca, com uso da expressão (16):

$$PST = \left(\frac{PUT \cdot PSA}{PUA} \right) \quad (16)$$

Em que:

PST = peso seco total (kg);

PUT = peso úmido total (kg);

PSA = peso seco da amostra (kg);

PUA = peso úmido da amostra (kg).

Com os dados de peso seco, foram realizados os cálculos referentes à quantidade de carbono existente em cada componente. Para tanto, os valores de peso seco total de cada componente foram multiplicados pelo teor de carbono, obtido em análise prévia, conforme a expressão (17):

$$C = PST \cdot TC \quad (17)$$

Em que:

C = quantidade de carbono na amostra (kg);

PST = peso seco total (kg);

TC = teor de carbono na amostra (kg).

4.4. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

4.4.1. Avaliação das variáveis em resposta ao espaçamento

Os dados de DAP, altura total, área transversal, volume por árvore e biomassa dos componentes: fuste, galhos vivos, galhos mortos, acículas e casca, seus respectivos pesos de carbono, bem como os valores de biomassa total e peso de carbono total por árvore, foram submetidos a análises de estatística descritiva e experimental. Considerou-se neste trabalho como biomassa total por árvore e peso de carbono total por árvore a soma do peso seco e peso de carbono de todos os componentes (fuste, galhos vivos, galhos mortos, acículas e casca).

O teste de homogeneidade de variâncias de Bartlett, a análise de variância (inteiramente casualizado) e o teste de comparação de médias de Tukey, foram realizados com uso do programa *Assistat 7.5 Beta*, ao nível de $\alpha = 0,05$.

4.4.2. Estimativa da biomassa e do carbono

Realizou-se a modelagem para estimativa da biomassa total por árvore e do peso de carbono total por árvore, em função do diâmetro (DAP) e da altura total (HT), com uso do modelo de Schumacher-Hall (18):

$$y = \beta_0 (DAP^{\beta_1}) \cdot (HT^{\beta_2}) + \varepsilon \quad (18)$$

Em que:

y = biomassa total e peso de carbono total por árvore;

β_0 , β_1 e β_2 = parâmetros da equação;

DAP = diâmetro a 1,3 m do solo;

HT = altura total;

ε = erro aleatório.

Além do modelo de Schumacher-Hall, utilizou-se também do procedimento estatístico de seleção de variáveis *stepwise*, para estimativa da biomassa total por árvore e do peso de carbono total por árvore, utilizando como variáveis independentes o DAP e a altura total, bem como combinações destas (DAP^2 , HT^2 , $DAP \cdot HT$, $DAP^2 \cdot HT$, $DAP \cdot HT^2$ e $DAP^2 \cdot HT^2$). O ajuste foi realizado com o programa *SAS – Statistical Analysis System*.

4.4.3. Avaliação dos modelos

A avaliação dos modelos ajustados para cada variável dependente, baseou-se nos seguintes critérios (SCOLFORO, 2005):

a) A equação deve ser representativa para os dados dos quais ela foi obtida. Esta representação foi determinada pelo coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajst}) (19), erro padrão dos resíduos de estimativa absoluto (S_{yx}) (20) e relativo ($S_{yx}\%$) (21), conforme segue:

$$R^2_{ajst} = 1 - \left[\frac{(n-1)}{n-p-1} (1 - R^2) \right] \quad (19)$$

Em que:

R^2_{ajst} = coeficiente de determinação ajustado;

n = número de observações;

p = número de variáveis independentes;

R^2 = coeficiente de determinação.

$$S_{yx} = \sqrt{QM_{Erro}} \quad (20)$$

Em que:

S_{yx} = erro padrão dos resíduos absoluto;

QM_{Erro} = quadrado médio dos erros.

$$S_{yx}\% = \frac{S_{yx}}{\bar{Y}} \cdot 100 \quad (21)$$

Em que:

$S_{yx}\%$ = erro padrão dos resíduos relativo;

\bar{Y} = média do valor observado.

b) A distribuição dos resíduos deve ser razoavelmente uniforme quando plotados sobre os valores observados ou sobre os valores estimados. A análise gráfica dos resíduos tem como objetivo verificar a existência ou não de tendenciosidade nas estimativas fornecidas pelo modelo. Aplicou-se a expressão (22) para a obtenção do resíduos em percentagem, conforme segue:

$$Res\% = \frac{Y_i - \hat{Y}_i}{Y_i} \cdot 100 \quad (22)$$

Em que:

Y_i = valor dos dados observados;

\hat{Y}_i = valor dos dados estimados.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. EFEITO DO ESPAÇO VITAL NO CRESCIMENTO EM DIÂMETRO (DAP)

A partir do teste de Bartlett, verificou-se a homogeneidade das variâncias dos dados ao nível de $\alpha = 0,05$. Os diferentes espaçamentos causaram efeitos significantes no crescimento em diâmetro das árvores de *Pinus taeda* L., constatados aos nove anos de idade pela análise de variância ($p < 0,05$). Na TABELA 2 constam os resultados estatísticos para o diâmetro a altura do peito, referentes à média, diâmetros máximo e mínimo por tratamento e seus respectivos coeficientes de variação.

TABELA 2 - MÉDIAS DOS DIÂMETROS E RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS DE *Pinus taeda* L., AOS NOVE ANOS DE IDADE EM FUNÇÃO DOS ESPAÇAMENTOS UTILIZADOS.

Espaçamento (m x m)	Espaço vital (m ²)	DAP médio (cm)	CV (%)	Mínimo (cm)	Máximo (cm)
1,0 x 1,0	1,0	12,1 a	47,8	3,9	20,4
2,0 x 1,0	2,0	13,9 a	40,1	5,1	22,1
2,0 x 2,0	4,0	14,7 a	37,1	7,0	22,0
3,0 x 2,5	7,5	20,5 b	27,3	10,6	27,7
3,0 x 3,0	9,0	22,5 b	37,0	10,8	36,4
3,0 x 3,5	10,5	23,3 b	33,9	10,9	34,1
4,0 x 3,0	12,0	23,0 b	24,0	14,7	31,5
4,0 x 3,5	14,0	24,0 b	23,4	15,6	31,9
4,0 x 4,0	16,0	23,7 b	22,8	16,2	31,8

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de $p < 0,05$ pelo teste de Tukey. CV = coeficiente de variação.

O espaçamento teve influência marcante no desenvolvimento desta variável. Os dados da TABELA 2 indicam diferenças significativas entre as médias dos tratamentos pelo teste de Tukey, ao nível de $\alpha = 0,05$.

Os tratamentos com espaços vitais menos amplos (1,0 m², 2,0 m² e 4,0 m²) apresentaram os menores diâmetros médios (12,1 cm, 13,9 cm e 14,7 cm, respectivamente). Semelhança estatística foi verificada entre tais tratamentos. A redução diamétrica em espaçamentos menores pode ser justificada pela alta competição entre indivíduos por fatores do meio, como água, luz e nutrientes, fato obviamente relacionado ao elevado número de árvores por unidade de área.

Em termos percentuais, o tratamento com 14,0 m² (24,0 cm) apresentou DAP médio 49,6% maior que o tratamento com 1,0 m² (12,1 cm). Os tratamentos com espaços vitais intermediários (7,5 m²; 9,0 m² e 10,5 m²) apresentaram médias semelhantes estatisticamente aos espaçamentos mais amplos (12,0 m²; 14,0 m² e 16,0 m²). Na FIGURA 9 observam-se as variações do diâmetro (DAP) das árvores de *Pinus taeda* L, em função do espaço vital.

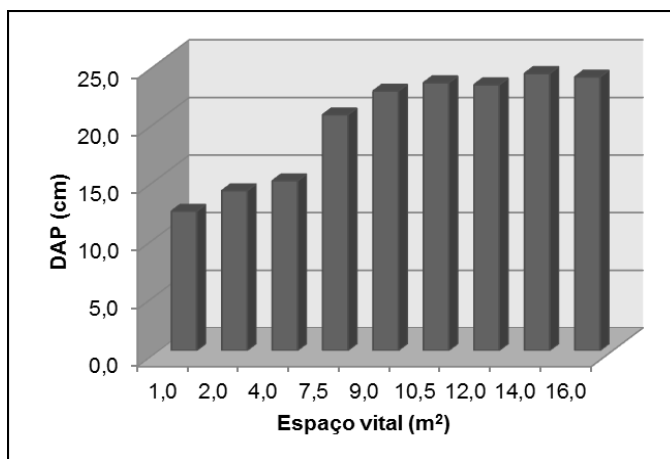


FIGURA 9 – VARIAÇÕES DO DIÂMETRO MÉDIO COM CASCA DE *Pinus taeda* L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.

Hiley (1959) descreveu o processo de desenvolvimento de um povoamento da seguinte maneira: “À medida que as árvores de um povoamento crescem, cada indivíduo necessita de mais espaço, para permitir que a copa expanda-se individualmente, para alimentar o fuste, que é cada vez mais longo e grosso. A taxa de crescimento diametral será determinada pelo espaço de crescimento de que dispõe cada árvore, que competem por espaço tanto para as raízes, quanto para a copa, necessitando que esteja espaçado uniformemente sobre a superfície, cujo resultado é uma maior uniformidade da competição entre os indivíduos do povoamento”.

Pacheco (2013) trabalhou com as mesmas 81 árvores analisadas neste estudo, utilizando-se da técnica de análise de tronco. Recompondo os diâmetros encontrou o maior DAP médio no espaço vital com 14,0 m² (23,41 cm sem casca), aos 9 anos.

Estudando o crescimento de um plantio de *Pinus taeda* aos 12 anos de idade em Jaguariaíva, região do norte pioneiro do Paraná, Sanquetta *et al.* (2003a) observaram maiores diâmetros (DAP) conforme o aumento do espaço vital, naquele caso, até 11,0 m², fato já observado em outras pesquisas realizadas na mesma região por Gomes *et al.* (1997) e Sanquetta *et al.* (1998). Leite *et al.* (2006) avaliando o efeito do espaçamento e da idade sobre as variáveis de povoamentos de *Pinus taeda* L., em Santa Catarina, confirmaram que espaçamentos mais amplos proporcionam diâmetros maiores, naquele caso espaços vitais entre 1,5 m² e 7,5 m² foram testados.

Costas *et al.* (2005) verificaram em povoamentos de *Pinus taeda* L., aos 7 anos de idade, na província de Misiones, Argentina, diferenças significativas nas médias dos diâmetros (DAP) devido ao efeito do espaço entre plantas, observando em densidades inferiores diâmetros maiores, tal fato também foi constatado na presente pesquisa.

Pacheco (2013) estudando o incremento médio anual em DAP, das mesmas 81 árvores avaliadas nesta pesquisa, com uso da análise completa de tronco, encontrou maior IMA em DAP também no espaço vital com 14,0 m² (2,6 cm sem casca). O autor afirmou ainda que o cruzamento das curvas de ICA e IMA em diâmetro ocorreram aos 6,3; 7,2 e 8,6 anos, respectivamente para os espaços vitais com 1,0 m²; 7,5 m² e 16,0 m², os quais representam o espaçamento menor, médio e maior, testados na pesquisa.

O coeficiente de variação do DAP ficou entre 22,8% (16,0 m²) e 47,8% (1,0 m²). Mesmo quando se trata de um povoamento formado por mudas produzidas à partir de sementes de pomar clonal, onde a constituição das árvores é basicamente a mesma, deve-se considerar que existem interações com o ambiente onde estas estão inseridas, justificando assim o CV%, que diminui com o aumento do espaçamento. Neste sentido, Scolforo (2005) relatou que as interações com o ambiente propiciam povoamentos com variações acentuadas de DAP e menores variações na altura total das árvores.

5.2. EFEITO DO ESPAÇO VITAL NO CRESCIMENTO EM ALTURA

O teste de Bartlett evidenciou a homogeneidade das variâncias, ao nível de $\alpha = 0,05$. A análise de variância não revelou significância estatística dos tratamentos sobre o crescimento em altura total ($p < 0,05$). Isto indica que, a princípio o espaçamento não exerce influência sobre esta variável. Na TABELA 3 apresentam-se os resultados estatísticos para a altura total, referentes à média, valores máximo e mínimo em cada tratamento (espaçamento) e respectivos coeficientes de variação.

TABELA 3 - MÉDIAS DAS ALTURAS TOTAIS E RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS DE *Pinus taeda* L., AOS NOVE ANOS DE IDADE EM FUNÇÃO DOS ESPAÇAMENTOS UTILIZADOS.

Espaçamento (m x m)	Espaço vital (m²)	Altura média (m)	CV (%)	Mínimo (m)	Máximo (m)
1,0 x 1,0	1,0	12,6	24,4	7,9	16,7
2,0 x 1,0	2,0	13,3	18,0	8,5	15,9
2,0 x 2,0	4,0	12,7	17,8	9,5	15,6
3,0 x 2,5	7,5	14,0	13,8	9,7	15,8
3,0 x 3,0	9,0	14,2	12,3	10,9	16,4
3,0 x 3,5	10,5	13,6	10,3	11,3	15,2
4,0 x 3,0	12,0	13,9	9,8	11,9	15,7
4,0 x 3,5	14,0	14,5	8,1	12,4	15,7
4,0 x 4,0	16,0	13,9	12,9	10,8	16,0

CV = coeficiente de variação.

Analisando os resultados apresentados na TABELA 3, observa-se que os valores do coeficiente de variação ficaram entre 8,1% e 24,4%, considerados baixos e aceitáveis tratando-se de dados florestais.

Menores alturas totais médias foram constatadas nos espaços vitais menos amplos (1,0 m²; 2,0 m² e 4,0 m²) com os valores 12,6 m; 13,3 m e 12,7 m, respectivamente. Os tratamentos com espaços vitais intermediários apresentaram valores médios elevados, com 14,0 m no tratamento com 7,5 m²; 14,2 m no tratamento com 9,0 m² e 13,6 m de altura no espaço vital com 10,5 m².

Os espaços vitais mais amplos (12,0 m²; 14,0 m² e 16,0 m²) tiveram médias de 13,9 m; 14,5 m e 13,9 m de altura, respectivamente. A maior média de altura total foi observada no espaçamento 4,0 m x 3,5 m, apenas 13,1% maior quando comparada ao valor médio obtido no tratamento com 1,0 m².

As variações em altura nos diferentes espaços vitais podem ser visualizadas na FIGURA 10, onde nota-se que os espaços vitais intermediários e os espaços

vitais mais amplos foram responsáveis pelas maiores alturas médias, com destaque para os tratamentos com 7,5 m²; 9,0 m² e 14,0 m². O aumento do crescimento em altura com o aumento do espaçamento foi verificado para *Pinus oocarpa* e *Pinus caribea hondurensis* nos espaços vitais 4,5 m² (3,0 m x 1,5 m); 6,0 m² (3,0 m x 2,0 m); 7,5 m² (3,0 m x 2,5 m); 9,0 m² (3,0 m x 3,0 m) e 10,5 m² (3,0 m x 3,5 m) a partir de 5 anos de idade (SOUZA, 1995). Schneider e Finger (1993) notaram que a abertura do espaço vital entre árvores resultante de diferentes intensidades de desbaste a partir do sétimo ano de *Pinus elliottii* provocou diferenças no crescimento da altura média.

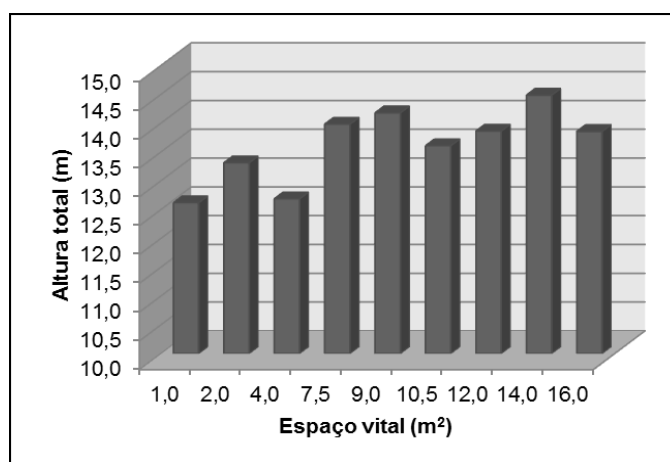


FIGURA 10 – VARIAÇÕES DA ALTURA TOTAL DE *Pinus taeda* L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.

No estudo realizado por Pacheco (2013), com as mesmas 81 árvores analisadas nesta pesquisa, entretanto utilizando-se análise completa de tronco, observou-se que as curvas de ICA e IMA em altura ainda não se cruzaram, e, segundo o autor, isto possivelmente ocorrerá aos 10 anos de idade. Este fato também foi constatado por Lima (2010), com uso medições em intervalo de um ano em parcelas permanentes instaladas no mesmo experimento e dados de altura total mensurados com o uso de um clinômetro eletrônico.

Leite *et al.* (2006) estudando o efeito do espaçamento e da idade sobre as variáveis dendrométricas de povoamentos de *Pinus taeda* L. no planalto serrano de Santa Catarina, não constataram efeito do espaço vital (entre 1,5 m² e 7,5 m²) sobre

a altura das árvores de *Pinus taeda* até os oito anos de idade, verificando diferença de até 1,1 m entre tratamentos quando medido aos 14 anos de idade.

Uma redução da altura média com o uso de espaçamentos menores foi observada por Balloni e Simões (1980), que comentaram a existência de várias controvérsias em relação à influência do espaçamento sobre o crescimento em altura das árvores. Existem casos onde a altura média aumenta com o espaçamento e outros onde o resultado é o inverso (EVERT, 1971). No entanto, torna-se importante avaliar a idade da floresta estudada, pois podem ocorrer mudanças no comportamento da altura em idades mais avançadas (BERGER, 2000).

No presente estudo verificou-se que o espaço vital realmente não influenciou o crescimento em altura total das árvores de *Pinus taeda* L., aos nove anos de idade, com base em dados medidos de forma direta, ou seja, após a derrubada das árvores (trena). Já em avaliação realizada por Lima (2010), no mesmo experimento, baseando-se em dados de parcela permanente, ou seja, com uso de um clinômetro para a medição das alturas totais, constatou-se influência do espaço vital e diferença estatística entre tratamentos aos 7 anos de idade. Assim, torna-se importante ressaltar que além da espécie florestal, dos tratamentos silviculturais aplicados na área, da idade de avaliação do povoamento, também deve-se considerar o método de mensuração da altura em estudos de espaçamento.

5.3. EFEITO DO ESPAÇO VITAL NA ÁREA TRANSVERSAL E ÁREA BASAL

O teste de Bartlett apontou homogeneidade de variâncias, ao nível de $\alpha = 0,05$. A análise de variância revelou diferença estatística significativa para o espaçamento ($p < 0,05$). Para se especificar quais espaços vitais apresentaram diferenças estatisticamente, aplicou-se o teste de comparação de médias de Tukey aos dados das 81 árvores. Na TABELA 4 constam os resultados estatísticos para a área transversal e área basal, referentes à média, valores máximo e mínimo em cada tratamento e respectivos coeficientes de variação.

Diferença estatística foi verificada entre as médias de área transversal, pelo teste de Tukey ao nível de $\alpha = 0,05$. O coeficiente de variação ficou entre 44,0%

(16,0 m²) e 81,5% (1,0 m²). Os tratamentos com 1,0 m²; 2,0 m² e 4,0 m² apresentaram médias semelhantes entre si.

TABELA 4 - MÉDIAS DAS ÁREAS TRANSVERSAIS E ÁREAS BASAIS E RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS DE *Pinus taeda* L., AOS NOVE ANOS DE IDADE EM FUNÇÃO DOS ESPAÇAMENTOS UTILIZADOS.

Espaçamento (m x m)	Espaço vital (m ²)	g (m ²)	CV (%)	G (m ² .ha ⁻¹)
1,0 x 1,0	1,0	0,0139 a	81,5	72,3
2,0 x 1,0	2,0	0,0173 a	70,5	75,4
2,0 x 2,0	4,0	0,0191 a	65,7	45,5
3,0 x 2,5	7,5	0,0351 b	49,2	46,8
3,0 x 3,0	9,0	0,0447 c	69,0	48,1
3,0 x 3,5	10,5	0,0468 c	61,1	44,2
4,0 x 3,0	12,0	0,0439 c	46,1	36,3
4,0 x 3,5	14,0	0,0476 c	44,9	34,0
4,0 x 4,0	16,0	0,0463 c	44,0	28,7

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de $p < 0,05$ pelo teste de Tukey. g = área transversal; CV = coeficiente de variação; G = área basal.

Conforme nota-se na TABELA 4, o tratamento com 7,5 m² apresentou diferença quando comparado aos demais. Um grupo homogêneo estatisticamente foi verificado entre os tratamentos intermediários (9,0 m² e 10,5 m²) e mais amplos (12,0 m²; 14,0 m² e 16,0 m²).

Os menores valores médios de área transversal foram encontrados nos tratamentos com espaços vitais menores (1,0 m²; 2,0 m² e 4,0 m²). As maiores médias de área transversal foram obtidas nos tratamentos com espaço vital intermediário (10,5 m²) e espaçamentos mais amplos (16,0 m² e 14,0 m²) com os valores de 0,0468 m²; 0,0463 m² e 0,0476 m², respectivamente. Em termos percentuais, verificou-se que o espaço vital com 14,0 m² apresentou uma área transversal 70,8% maior, quando comparado ao tratamento menos amplo (1,0 m²).

Na FIGURA 11 nota-se o aumento gradativo da área transversal conforme o espaço vital é ampliado. Este fato justifica-se à baixa competição por luz, água e nutrientes em tratamentos com espaços vitais intermediários e mais amplos, assim favorecendo o crescimento individual das árvores. Sanquetta *et al.* (2003b) estudando a influência de diferentes espaçamentos de plantio em reflorestamentos

de *Pinus taeda* L., em Jaguariaíva, PR, constataram diferença significativa para a variável área transversal após os 54 meses de idade.

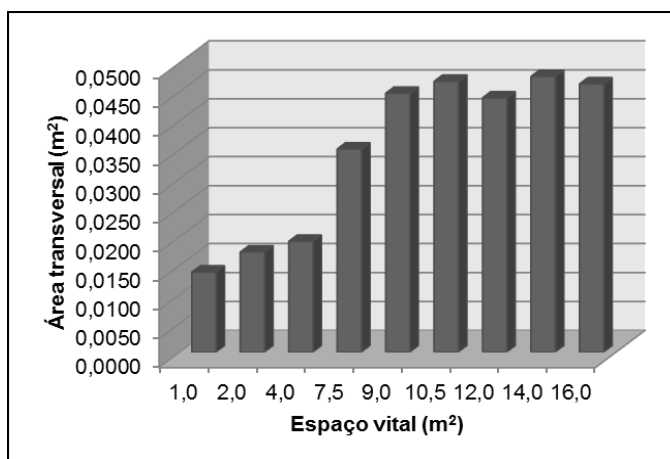


FIGURA 11 – VARIAÇÕES DA ÁREA TRANSVERSAL DE *Pinus taeda* L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.

Pacheco (2013) analisando as mesmas 81 árvores avaliadas no presente estudo utilizando análise completa de tronco, encontrou diferenças entre tratamentos aos 9 anos de idade, para a variável área transversal sem casca. Naquele caso, maiores valores médios foram obtidos em espaços vitais mais amplos e o espaço vital com 14,0 m² foi o que produziu a maior área transversal média, confirmando assim o resultado obtido nesta pesquisa.

Lima (2010) avaliando o efeito do espaçamento no desenvolvimento em área transversal de árvores de *Pinus taeda* L., aos 7 anos de idade, com dados de parcelas permanentes instaladas no mesmo experimento aqui examinado, relatou maiores valores médios de área transversal conforme o aumento dos espaços vitais. Naquele caso, o maior valor médio encontrado foi 0,281 m², também no espaço vital com 14,0 m².

Chies (2005) testando a influência do espaçamento para *Pinus taeda* L., aos 21 anos de idade, no município de Três Barras, Santa Catarina, constatou que a proporção de madeira juvenil em relação à área transversal aumenta com o aumento do espaçamento.

Segundo Pacheco (2013) apenas as curvas de ICA e IMA do espaço vital com 1,0 m² já se encontraram (7,8 anos de idade), ou seja, já foi atingido o máximo

incremento médio anual em área transversal. O autor avaliou o crescimento em área transversal sem casca das mesmas 81 árvores analisadas no presente estudo, com uso da análise completa de tronco.

A área basal variou de 28,7 m².ha⁻¹ a 75,4 m².ha⁻¹. Os maiores valores médios foram verificados nos espaços vitais menos amplos (2,0 m² e 1,0 m²), com 75,4 m².ha⁻¹ e 71,9 m².ha⁻¹, respectivamente. O tratamento com 2,0 m² (4.360 árvores.ha⁻¹) apresentou área basal 62,9% maior quando comparado ao espaçamento com 16,0 m² (620 árvores.ha⁻¹). Os tratamentos com espaços vitais mais amplos (12,0 m²; 14,0 m² e 16,0 m²) tiveram as menores áreas basais, com 36,3 m².ha⁻¹; 34,0 m².ha⁻¹ e 28,7 m².ha⁻¹, respectivamente.

A FIGURA 12 mostra as variações da área basal média de *Pinus taeda* L., aos nove anos de idade, onde observa-se que a área basal é altamente influenciada pela densidade, e, em espaços vitais menos amplos tende a ser maior. O aumento do número de árvores por unidade de área aumenta a área basal significativamente, até o momento em que se inicia a competição entre elas, estabelecendo-se a seguir a mortalidade natural e com isso a redução momentânea da área basal (SCHNEIDER e FINGER, 1994).

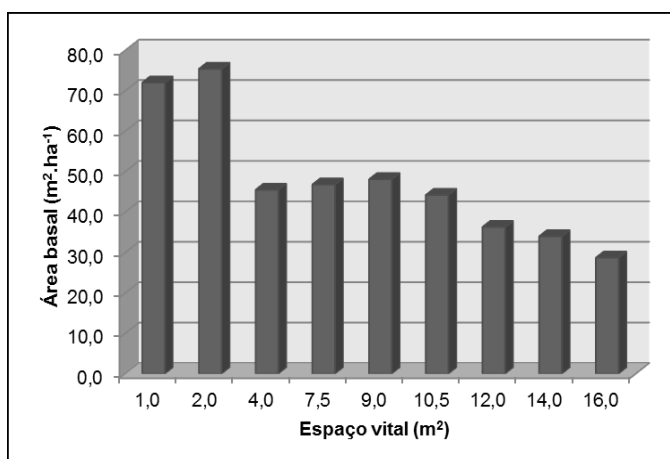


FIGURA 12 – ÁREA BASAL DE *Pinus taeda* L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.

Sanquetta *et al.* (1998) avaliando um plantio de *Pinus taeda* L., aos nove anos de idade, sob diferentes espaços vitais (3,0 m²; 5,0 m²; 7,0 m²; 9,0 m² e 11,0 m²) encontraram maiores valores médios de área basal nos espaçamentos menores. Em

ensaios distintos para avaliação do crescimento de *Pinus taeda* L., Fahler *et al.* (1986) aos 8 anos de idade, Crechi *et al.* (1992), para idades entre 9 e 19 anos e Costas *et al.* (2003a) aos 5 anos, encontraram em espaços vitais menos amplos, maior produção em área basal. Pinkard e Neilsen (2003), também relataram em seu estudo resultados semelhantes aos encontrados na presente pesquisa, estes, atribuídos ao maior número de árvores por hectare.

5.4. EFEITO DO ESPAÇO VITAL NO VOLUME POR ÁRVORE E POR HECTARE

O teste de Bartlett aplicado aos valores médios de volume por árvore revelou a homogeneidade das variâncias ao nível de $\alpha = 0,05$. A análise de variância apontou diferença estatística significativa entre os espaçamentos ($p < 0,05$). Isto indica que o espaço vital exerce influência sobre o crescimento volumétrico. Na TABELA 5 constam os resultados estatísticos para o volume individual, referentes à média, volumes máximo e mínimo por tratamento e seus respectivos coeficientes de variação.

TABELA 5 - MÉDIAS DOS VOLUMES POR ÁRVORE E POR HECTARE E RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS DE *Pinus taeda* L., AOS NOVE ANOS DE IDADE EM FUNÇÃO DOS ESPAÇAMENTOS UTILIZADOS.

Espaçamento (m x m)	Espaço vital (m ²)	Volume (m ³)	CV (%)	Volume (m ³ .ha ⁻¹)
1,0 x 1,0	1,0	0,1005 a	96,1	522,6
2,0 x 1,0	2,0	0,1200 a	77,6	523,2
2,0 x 2,0	4,0	0,1256 a	71,3	298,9
3,0 x 2,5	7,5	0,2280 b	51,2	303,9
3,0 x 3,0	9,0	0,2920 c	72,5	314,2
3,0 x 3,5	10,5	0,2784 c	62,2	263,1
4,0 x 3,0	12,0	0,2715 c	48,6	224,5
4,0 x 3,5	14,0	0,3184 c	47,1	227,3
4,0 x 4,0	16,0	0,2915 c	49,1	180,7

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de $p < 0,05$ pelo teste de Tukey. CV = coeficiente de variação.

Diferença significativa foi constatada entre as médias dos tratamentos, conforme mostrado na TABELA 5. Os valores do coeficiente de variação ficaram entre 47,1% (14,0 m²) e 96,1% (1,0 m²). Os menores valores médios de volume

individual foram constatados nos espaços vitais menos amplos ($1,0 \text{ m}^2$; $2,0 \text{ m}^2$ e $4,0 \text{ m}^2$), com os valores $0,1005 \text{ m}^3$, $0,1200 \text{ m}^3$ e $0,1256 \text{ m}^3$, respectivamente. Estes tratamentos apresentaram médias semelhantes entre si, porém diferiram estatisticamente dos demais.

O tratamento com $7,5 \text{ m}^2$ apresentou diferença estatística quando comparado aos demais tratamentos avaliados. Os tratamentos com espaços vitais intermediários ($10,5 \text{ m}^2$ e $12,0 \text{ m}^2$) apresentaram resultados semelhantes, em alguns casos superiores aos volumes médios obtidos nos espaçamentos mais amplos.

Os tratamentos com espaços vitais mais amplos (12 m^2 ; $14,0 \text{ m}^2$ e $16,0 \text{ m}^2$), quando comparados estatisticamente revelaram médias semelhantes entre si e para com os tratamentos intermediários ($9,0 \text{ m}^2$ e $10,5 \text{ m}^2$). As maiores médias de volume individual foram verificadas nos espaços vitais com $14,0 \text{ m}^2$; $9,0 \text{ m}^2$ e $16,0 \text{ m}^2$, com valores de $0,3184 \text{ m}^3$; $0,2920 \text{ m}^3$ e $0,2915 \text{ m}^3$, respectivamente. Em termos percentuais, notou-se que o tratamento com $14,0 \text{ m}^2$ teve um volume por árvore 68,4% maior, quando comparado ao tratamento com $1,0 \text{ m}^2$.

O volume por árvore é altamente influenciado pelo DAP, ou seja, o livre crescimento em diâmetro conferido pela maior disponibilidade de área útil dos espaços vitais mais amplos normalmente confere maior volume individual por árvore. A diferença entre os tratamentos pode ser visualizada na FIGURA 13.

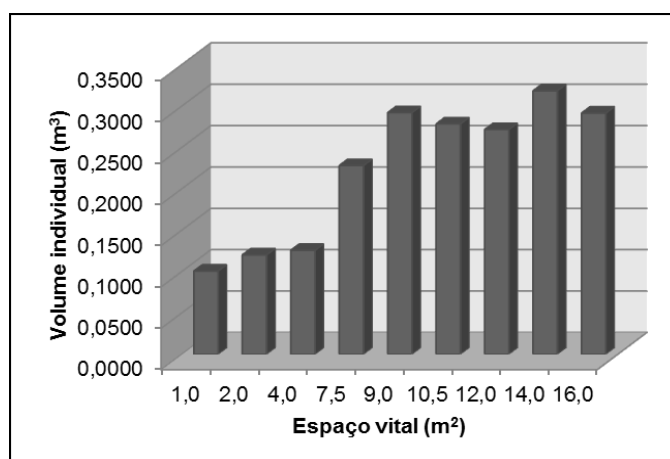


FIGURA 13 – VARIAÇÕES DO VOLUME INDIVIDUAL DE *Pinus taeda* L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.

Como o volume está diretamente ligado ao diâmetro das plantas e à sua altura, observa-se que os resultados de volume individual apresentam a mesma

tendência de variação observada para os resultados do DAP (FIGURA 13). Neste aspecto, Sanquetta *et al.* (2003b), avaliando o efeito de espaçamentos distintos em reflorestamentos de *Pinus taeda* L., comprovaram diferenças significativas no crescimento do volume cilíndrico individual a partir dos 54 meses. Comentaram também um aumento do volume por árvore, conforme o aumento do espaçamento.

Lima (2010) estudando o crescimento em volume cilíndrico individual de árvores de *Pinus taeda* L., aos 7 anos de idade, com dados de parcelas permanentes instaladas na mesma área experimental analisada nesta pesquisa, relatou maior volume individual médio em espaços vitais mais amplos, naquele caso a maior média foi 0,1284 m³, também no tratamento com 14,0 m².

Pacheco (2013), aplicando a análise completa de tronco às mesmas 81 árvores avaliadas no presente trabalho, relatou maior incremento médio anual em volume sem casca no espaço vital com 14,0 m² (0,0302 m³.ano⁻¹). O autor relatou ainda que as curvas de incremento corrente anual e incremento médio anual não atingiram a assíntota, indicando que a máxima produção volumétrica ainda poderá demorar mais alguns anos.

Com relação à produção volumétrica, os valores variaram de 180,7 m³.ha⁻¹ (16,0 m²) a 523,2 m³.ha⁻¹ (2,0 m²). Em termos percentuais, o tratamento com 2,0 m² apresentou um volume por unidade de área 65,5% maior que o tratamento com 16,0 m². De acordo com Leite *et al.* (2006), a influência do espaçamento sobre o volume por árvore e por hectare é resultado do efeito do espaçamento sobre a sobrevivência e sobre o crescimento em diâmetro e em altura. Para Fishwich (1976), a produção em volume de madeira de um povoamento sempre diminui com o aumento do espaçamento inicial. Essa diferença de produção torna-se cada vez menor com o aumento da idade das plantas (MORAIS, 2006).

Na FIGURA 14 verifica-se que espaçamentos menos amplos (1,0 m² e 2,0 m²) geram grande volume de madeira, assim, podem ser utilizados quando o objetivo do silvicultor é a produção de madeira para energia.

Pinkard e Neilsen (2003) citaram que o volume total do povoamento por unidade de área, no decorrer do tempo, aumenta com a maior densidade do espaçamento, a expensas de um menor volume individual por árvore.

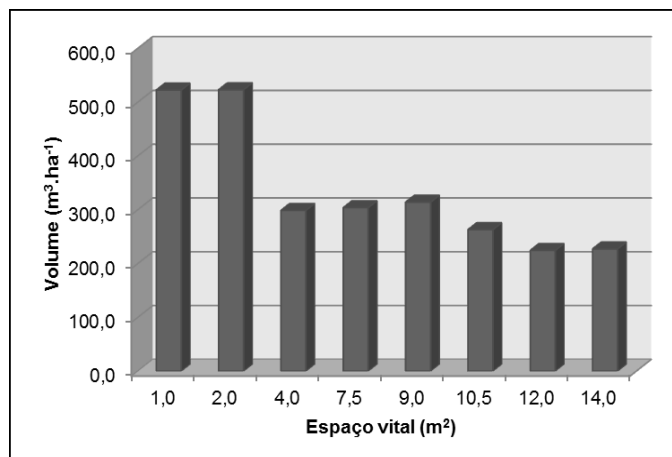


FIGURA 14 – VOLUME POR HECTARE DE *Pinus taeda* L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.

Botelho (1998) e Oliveira Neto *et al.* (2003) também relataram a ocorrência de maior produção por unidade de área nos espaçamentos mais reduzidos, em função do maior número de indivíduos, confirmando os resultados obtidos no presente estudo.

Os resultados das análises do efeito do espaço vital sobre o volume por hectare aos 9 anos de idade foram similares aos resultados obtidos por Fahler *et al.* (1986) avaliando um ensaio de densidade populacional, aos 8 anos e também por Costas *et al.* (2003a e 2003b) estudando um experimento com *Pinus taeda* L., aos 5 e 6 anos de idade.

Para Balloni e Simões (1980), a adoção de espaçamentos não adequados para certas espécies florestais pode resultar em um número excessivo de árvores dominadas no povoamento, as quais influenciam de forma negativa no volume comercial e possivelmente no volume total. Neste aspecto, Jones (1987) relatou que o crescimento do volume comercial diminui drasticamente em idades mais avançadas, principalmente para o espaço vital com 5,8 m² e para os mais adensados.

Particularmente para o gênero *Pinus*, os desbastes têm sido uma das mais importantes alternativas silviculturais, influenciando no crescimento e produção das árvores, nas suas dimensões, vigor e qualidade e na regulação da densidade do povoamento (SCOLFORO e MACHADO, 1996). O regime de manejo e idade de

corde são fatores fundamentais, que devem ser definidos de acordo com o objetivo da produção madeireira e a densidade do plantio.

5.6. EFEITO DO ESPAÇO VITAL NA BIOMASSA

A homogeneidade de variâncias foi apontada pelo teste de Bartlett, ao nível de $\alpha = 0,05$ para os dados das variáveis de biomassa. O espaço vital apresentou influência estatística significativa na produção de biomassa total e biomassa dos distintos componentes das árvores de *Pinus taeda* L., de acordo com a análise de variância ($p < 0,05$). Na TABELA 6 constam as médias referentes à biomassa de cada componente e biomassa total por árvore, com o resultado do teste de comparação de médias de Tukey.

TABELA 6 - MÉDIAS DA BIOMASSA DOS COMPONENTES E BIOMASSA TOTAL DE *Pinus taeda* L. AOS NOVE ANOS DE IDADE EM FUNÇÃO DOS ESPAÇAMENTOS UTILIZADOS.

Esp (m x m)	EV (m²)	FS/C (kg.árv⁻¹)	GV (kg.árv⁻¹)	GM (kg.árv⁻¹)	AC (kg.árv⁻¹)	Casca (kg.árv⁻¹)	Total (kg.árv⁻¹)
1,0 x 1,0	1,0	40,8 a	3,6 a	3,3 a	4,1 a	5,4 a	57,1 a
2,0 x 1,0	2,0	41,8 a	5,2 a	3,5 a	4,1 a	6,6 a	61,1 a
2,0 x 2,0	4,0	42,6 a	6,6 a	4,8 a	4,3 a	6,1 a	64,4 a
3,0 x 2,5	7,5	76,1 b	17,8 b	8,1 b	9,8 b	11,5 b	123,2 b
3,0 x 3,0	9,0	88,7 c	33,4 c	11,3 c	13,8 c	12,7 b	159,8 c
3,0 x 3,5	10,5	88,4 c	29,9 c	13,6 cd	11,4 c	12,2 b	155,7 c
4,0 x 3,0	12,0	93,8 cd	28,1 c	14,9 d	11,1 c	13,8 c	161,7 cd
4,0 x 3,5	14,0	98,6 d	28,7 c	12,8 c	13,5 c	14,1 c	167,6 d
4,0 x 4,0	16,0	89,8 c	34,2 c	12,0 c	12,8 c	11,7 b	160,5 cd

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de $p < 0,05$ pelo teste de Tukey. Esp = espaçamento; EV = espaço vital; FS/C = fuste sem casca; GV = galho vivo; GM = galho morto; AC = acícula.

5.6.1. Fuste sem casca

As médias do componente fuste sem casca variaram entre 40,8 kg.árvore⁻¹ (1,0 m²) e 98,6 kg.árvore⁻¹ (14,0 m²). Os espaços vitais com 1,0 m²; 2,0 m² e 4,0 m² tiveram médias iguais estatisticamente entre si, porém diferiram dos demais. Médias homogêneas foram verificadas entre os espaços vitais intermediários (9,0 m² e 10,5 m²) e os espaços vitais com 12,0 m² e 16,0 m². O tratamento com 14,0 m²

também apresentou semelhança estatística quando comparado ao tratamento com 12,0 m², mas diferiu dos demais.

Madgwick e Kreh (1980) estimaram a produção de biomassa de 10 povoamentos de *Pinus taeda* de diferentes idades e espaçamentos. Os autores observaram que, o peso de matéria seca do fuste aumentou proporcionalmente com a redução da densidade populacional, bem como o resultado constatado no presente estudo, onde espaçamentos mais densos geraram menor peso de biomassa desta variável.

Rondon (2006) estudando a biomassa de *Tectona grandis* L. f., aos 76 meses de idade sob diferentes espaços vitais (6,0 m²; 9,0 m²; 12,0 m²; 15,0 m²; 16,0 m²; 20,0 m² e 25,0 m²) no município de Sinop, estado do Mato Grosso, comprovou influência do espaçamento sob a produção de biomassa do fuste das árvores, ou seja, quanto maior o espaço vital maior é o peso de biomassa do fuste.

Na FIGURA 15 é possível visualizar que a maior produção média de biomassa por árvore, do componente fuste sem casca ocorre em espaços vitais maiores (12,0 m²; 14,0 m² e 16,0 m²). Observa-se também que, os tratamentos menos amplos (1,0 m²; 2,0 m² e 4,0 m²) apresentaram produção de biomassa de fuste sem casca bastante semelhante. O espaço vital com 14,0 m² gerou produção individual de biomassa de fuste, em média, 58,0% maior que os espaços vitais com 1,0 m²; 2,0 m² e 4,0 m².

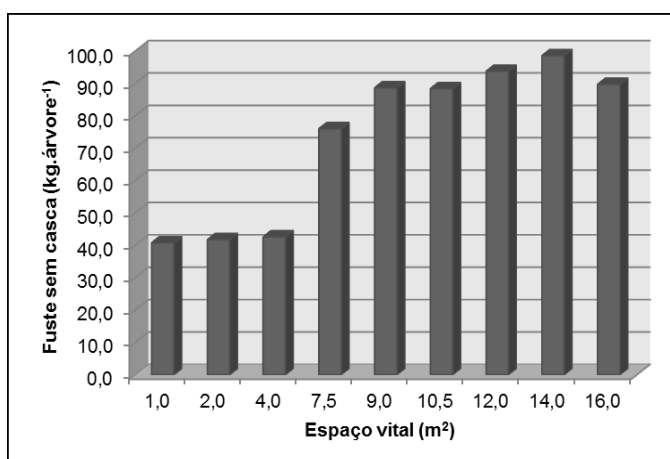


FIGURA 15 – VARIAÇÕES DA BIOMASSA DO COMPONENTE FUSTE SEM CASCA DE *Pinus taeda* L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.

Maior produção média de biomassa do fuste também foi encontrada por Rondon (2002) para *Schizolobium amazonicum*, aos 4 anos de idade, em espaços vitais intermediários (8,0 m² e 9,0 m²) e mais amplos (12,0 m² e 16,0 m²). Também Silva (2005), avaliando a produção de matéria seca de diferentes clones de eucalipto aos 6 anos de idade, em espaçamentos distintos comprovou maiores valores de biomassa do componente fuste sem casca, conforme o aumento do espaço vital. Naquele caso, as médias foram 68,84 kg.árvore⁻¹ (6,0 m²); 109,54 kg.árvore⁻¹ (10,5 m²) e 143,19 kg.árvore⁻¹ (15,0 m²).

5.6.2. Galho vivo

Para o componente galho vivo os valores variaram de 3,6 kg.árvore⁻¹ a 34,2 kg.árvore⁻¹ de massa seca. Verificou-se semelhança estatística entre as médias dos tratamentos com espaços vitais menos amplos (1,0 m²; 2,0 m² e 4,0 m²), entretanto, diferiram dos demais. Já os tratamentos com espaços vitais intermediários (9,0 m² e 10,5 m²) apresentaram médias semelhantes estatisticamente quando comparados aos espaços vitais mais amplos (12,0 m²; 14,0 m² e 16,0 m²). O espaço vital de 7,5 m² diferiu estatisticamente dos demais tratamentos.

Pode-se comprovar que a maior produção de biomassa de galhos vivos ocorre nos espaços vitais intermediários, bem como em espaços vitais mais amplos. As maiores médias para este componente foram encontradas nos tratamentos com espaços vitais com 16,0 m²; 9,0 m² e 10,5 m² com valores de 34,2 kg.árvore⁻¹; 33,4 kg.árvore⁻¹ e 29,9 kg.árvore⁻¹, respectivamente.

Madgwick e Kreh (1980) estudando a produção de biomassa de povoamentos de *Pinus taeda* em diferentes densidades de plantio, relataram que o peso de matéria seca dos galhos vivos diminuiu com a redução do espaçamento, confirmando assim a tendência dos resultados obtidos neste estudo. Embora o diâmetro dos galhos não tenha sido medido, é possível que os maiores valores de biomassa de galhos vivos nos espaçamentos mais amplos sejam justificados pela ocorrência de copas mais desenvolvidas nestes tratamentos, assim resultando em galhos mais grossos, conforme ilustra a FIGURA 16.

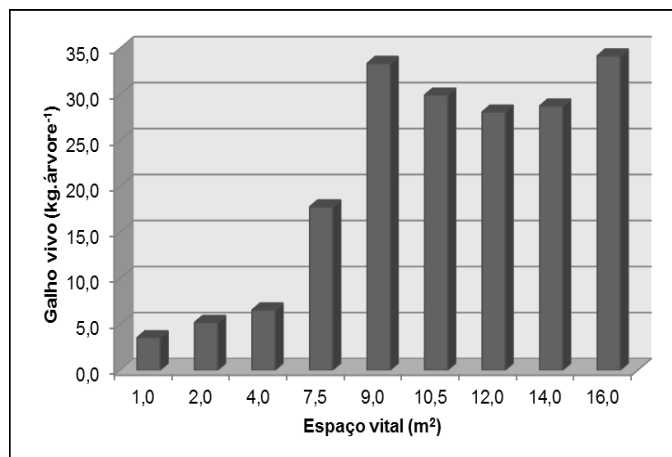


FIGURA 16 – VARIAÇÕES DA BIOMASSA DO COMPONENTE GALHO VIVO DE *Pinus taeda* L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.

Os espaços vitais com 9,0 m² e 16,0 m² geram produção individual de biomassa de galhos vivos, em média, 85,0% maior que os espaços vitais menos amplos (1,0 m²; 2,0 m² e 4,0 m²). Neste contexto, Inoue *et al.* (2011a) estudando o crescimento juvenil de *Pinus taeda* L. em função do espaço vital, verificou a existência de indício de correlação positiva entre espaço vital e o diâmetro de galhos e que, árvores mais grossas apresentavam ramos mais grossos. Esta constatação também está de acordo com Sutton (1970), pois esse autor relatou que em espaçamentos menores a formação de galhos é menos acentuada.

Rondon (2002) analisando o efeito do espaçamento na biomassa de *Schizolobium amazonicum*, aos 4 anos, relatou maior produção de galhos por árvore conforme o aumento do espaço vital, conforme verificado no presente estudo.

Sanquetta *et al.* (2003a) avaliando a produção de madeira livre de nós por simulação, em povoamentos de *Pinus taeda* em função da densidade de plantio, comprovou que a densidade afetou a produção de galhos das árvores, aos 12 anos de idade. Segundo os autores, este resultado decorre do fato de que a existência de espaçamento mais amplo permite maior liberação para o crescimento da copa das árvores e, conseqüentemente, maior alocação de biomassa para os galhos.

5.6.3. Galho morto

Quanto a biomassa de galhos mortos, diferenças estatísticas entre as médias foram constatadas. Um grupo homogêneo de médias foi verificado entre os espaços vitais menos amplos (1,0 m²; 2,0 m² e 4,0 m²). As médias dos tratamentos intermediários (9,0 m² e 10,5 m²) foram semelhantes estatisticamente às médias dos tratamentos com espaços vitais mais amplos (14,0 m² e 16,0 m²). Os tratamentos com 10,5 m² e 12,0 m² apresentaram médias semelhantes. Apenas o tratamento de 7,5 m² diferiu dos demais tratamentos, para o componente galho morto.

A FIGURA 17 mostra as variações entre as médias de biomassa de galhos mortos de *Pinus taeda* L., nos diferentes espaçamentos, onde nota-se que maiores médias de biomassa de galhos mortos ocorreram em tratamentos com espaços vitais intermediários e mais amplos. Os maiores valores foram obtidos nos tratamentos com 12,0 m²; 10,5 m² e 14,0 m² (14,9 kg.árvore⁻¹; 13,6 kg.árvore⁻¹ e 12,8 kg.árvore⁻¹, respectivamente).

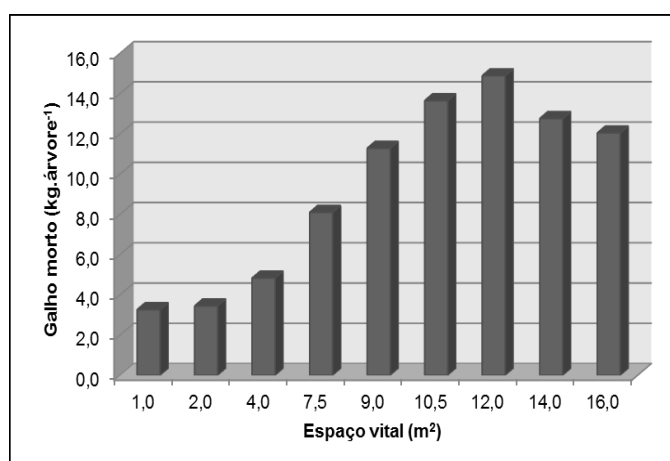


FIGURA 17 – VARIAÇÕES DA BIOMASSA DO COMPONENTE GALHO MORTO DE *Pinus taeda* L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.

Silva (2005) estudando a produção de matéria seca por árvore de clones de eucalipto, aos 6 anos de idade em diferentes espaçamentos, encontrou maiores valores médios de biomassa de galhos (mortos e vivos) conforme a ampliação do espaço vital. No referido estudo o autor constatou os valores: 2,80 kg.árvore⁻¹ (6,0 m²); 4,42 kg.árvore⁻¹ (10,5 m²) e 5,72 kg.árvore⁻¹ (15,0 m²).

O espaço vital de 14,0 m² gerou uma produção de biomassa de galhos mortos, em média, 74,0% maior quando comparado aos espaços vitais menos

amplos (1,0 m²; 2,0 m² e 4,0 m²). Neste aspecto, Valério (2009) quantificando a biomassa em plantações de *Pinus elliottii* Engelm. com diferentes idades constatou correlação positiva ($r = 0,74$) entre a biomassa de galhos mortos e o diâmetro (DAP). Assim, o autor destacou que quanto maior o DAP maior a quantidade de galhos mortos presentes nas árvores, confirmando a tendência verificada no presente estudo.

5.6.4. Acículas

Para as acículas, os tratamentos com espaços vitais de 1,0 m²; 2,0 m² e 4,0 m² foram semelhantes estatisticamente. Um grupo homogêneo de médias foi verificado entre os tratamentos com 9,0 m²; 10,5 m²; 12,0 m²; 14,0 m² e 16,0 m². O tratamento com espaço vital de 7,5 m² diferiu estatisticamente quando comparado aos tratamentos menos amplos, bem como aos demais tratamentos.

No estudo de quantificação de biomassa de *Pinus elliottii* Engelm. realizado por Valério (2009), o autor relatou a existência de correlação linear positiva entre a produção de biomassa de acículas e o DAP das árvores em diferentes idades. Quanto maior o diâmetro, maior também a produção de acículas. Neste aspecto, torna-se possível compreender os resultados obtidos nesta pesquisa, pois maiores valores de DAP foram observados conforme a ampliação do espaço vital, assim justificando a maior produção de biomassa de acículas nestes tratamentos.

O maior valor encontrado neste trabalho foi 13,8 kg.árvore⁻¹ no tratamento com 9,0 m², este espaço vital gerou produção de acículas, em média, 70,0% maior que nos tratamentos menos amplos (1,0 m² e 2,0 m²). Neste contexto, Siemon *et al.* (1980), verificaram que a densidade de plantio também afetou o peso de matéria seca das acículas, em povoamento de *Pinus radiata* aos 23 anos de idade, ou seja, maiores densidades produziram menor quantidade de biomassa de acículas por árvore que as densidades menores, conforme também verificado no presente estudo.

A FIGURA 18 ilustra as variações obtidas para o componente acícula de *Pinus taeda* L., em espaços vitais distintos na região de Irati, PR, avaliado aos nove anos de idade.

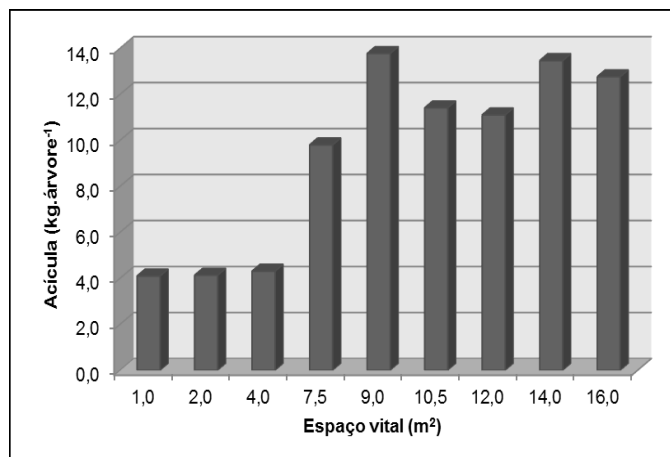


FIGURA 18 – VARIAÇÕES DA BIOMASSA DO COMPONENTE ACÍCULA DE *Pinus taeda* L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.

Silva (2005) analisando a produção de matéria seca das folhas de clones de eucalipto, aos 6 anos de idade em função do espaçamento também observou maiores valores médios em espaços vitais mais amplos, conforme segue: 1,91 kg.árvore⁻¹ (6,0 m²); 3,27 kg.árvore⁻¹ (10,5 m²) e 3,99 kg.árvore⁻¹ (15,0 m²).

Rondon (2002) encontrou maior produção individual de biomassa de folhas de *Schizolobium amazonicum*, aos 4 anos de idade, em espaço vital intermediário (6,0 m²) e em espaços vitais mais amplos (12,0 m² e 16,0 m²), conforme também constatado na presente pesquisa.

5.6.5. Casca

Com relação à biomassa do componente casca, as médias foram estatisticamente diferentes de acordo com o teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). Os tratamentos com espaços vitais 1,0 m²; 2,0 m² e 4,0 m² apresentaram médias semelhantes entre si. Médias semelhantes entre os tratamentos com 7,5 m²; 9,0 m²; 10,5 m² e 16,0 m² foram constatadas. Os tratamentos com 12,5 m² e 14,0 m² apresentaram médias semelhantes entre si, porém diferiram quando comparados aos demais.

As variações referentes à biomassa do componente casca de *Pinus taeda* L., aos nove anos de idade em nove diferentes espaços vitais podem ser visualizadas

na FIGURA 19, onde nota-se que os valores médios ficaram entre 5,4 kg.árvore⁻¹ (1,0 m²) e 14,1 kg.árvore⁻¹ (14,0 m²). Maiores médias foram verificadas em tratamentos com espaços vitais intermediários (7,5 m²; 9,0 m² e 10,5 m²) e nos tratamentos com espaços vitais mais amplos (12,0 m²; 14,0 m² e 16,0 m²). O espaço vital com 7,5 m² gerou produção de biomassa de casca, em média, 57,0% maior que os tratamentos menos amplos.

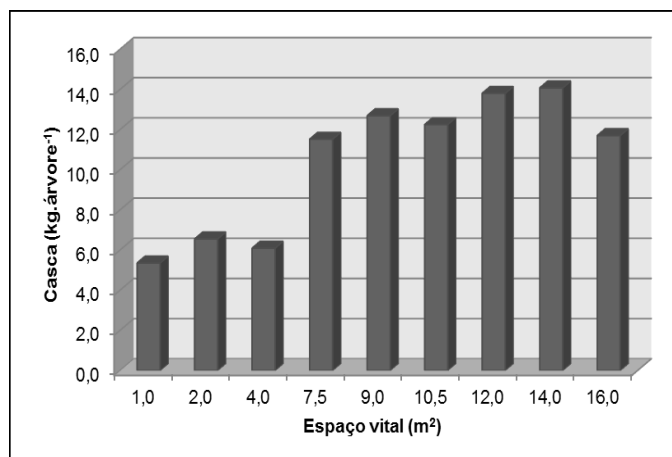


FIGURA 19 – VARIAÇÕES DA BIOMASSA DO COMPONENTE CASCA DE *Pinus taeda* L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.

Silva (2005) analisando a produção de matéria seca da casca de clones de eucalipto em diferentes espaçamentos, também verificou maiores médias conforme o aumento do espaço vital. Naquele caso os valores foram 6,21 kg.árvore⁻¹ (6,0 m²); 9,60 kg.árvore⁻¹ (10,5 m²) e 12,10 kg.árvore⁻¹ (15,0 m²).

Alemdag e Stiehl (1982) avaliando o efeito do espaçamento (entre 1,52 m x 1,52 m) até (4,27 m x 4,27 m), na produção de matéria seca de casca de árvores de *Pinus resinosa*, em diferentes idades (27 a 54 anos) observaram maior produção individual em espaços vitais maiores, bem como a influência dos tratamentos sobre tal variável, conforme também constatado no presente estudo.

5.6.6. Biomassa total por árvore

Efetuada-se a soma da biomassa de todos os componentes já comentados (fuste, galhos vivos, galhos mortos, acículas e casca) obtém-se o peso de biomassa

total por árvore. As médias referentes aos tratamentos avaliados apresentaram diferenças estatísticas significativas, quando comparadas. Os valores médios ficaram entre 57,1 kg.árvore⁻¹ e 167,6 kg.árvore⁻¹.

Os tratamentos com espaços vitais menos amplos (1,0 m²; 2,0 m² e 4,0 m²) foram semelhantes entre si. Um grupo homogêneo estatisticamente foi verificado entre os tratamentos com 9,0 m²; 10,5 m²; 12,0 m² e 16,0 m². Os tratamentos mais amplos (12,0 m²; 14,0 m² e 16,0 m²) também apresentaram médias semelhantes entre si. Já o tratamento com espaço vital de 7,5 m² diferiu dos demais tratamentos, quando comparado.

Da FIGURA 20, pode-se extrair que espaços vitais intermediários e espaços vitais mais amplos produzem maior quantidade média de biomassa total por árvore. Os maiores valores médios foram 167,6 kg.árvore⁻¹; 161,7 kg.árvore⁻¹; 160,5 kg.árvore⁻¹ e 159,7 kg.árvore⁻¹, obtidos nos tratamentos com 14,0 m²; 12,0 m²; 16,0 m² e 9,0 m², respectivamente. O espaço vital com 14,0 m² gerou produção de biomassa total, em média, 64,0% maior, que os espaços vitais menos amplos (1,0 m²; 2,0 m² e 4,0 m²).

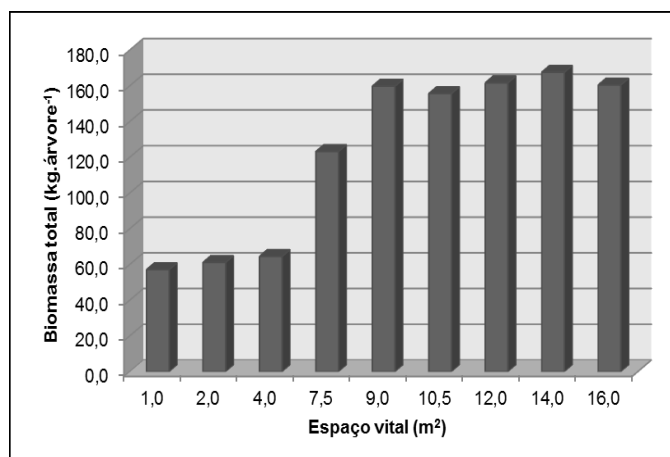


FIGURA 20 – VARIAÇÕES DA BIOMASSA TOTAL DE *Pinus taeda* L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.

Silva (2005), também constatou diferença estatística entre os espaçamentos, bem como maior produção de biomassa total em espaços vitais mais amplos em seu estudo com clones de eucalipto, aos 6 anos de idade. O autor relatou os valores 79,76 kg.árvore⁻¹ (6,0 m²); 126,83 kg.árvore⁻¹ (10,5 m²) e 165,0 kg.árvore⁻¹ (15,0 m²).

A distribuição percentual da biomassa nas 81 árvores de *Pinus taeda* L., nos

espaçamentos estudados pode ser visualizada na FIGURA 21, onde nota-se, que os percentuais de biomassa do componente fuste sem casca variaram entre 55,0% (9,0 m²) e 72,0% (1,0 m²).

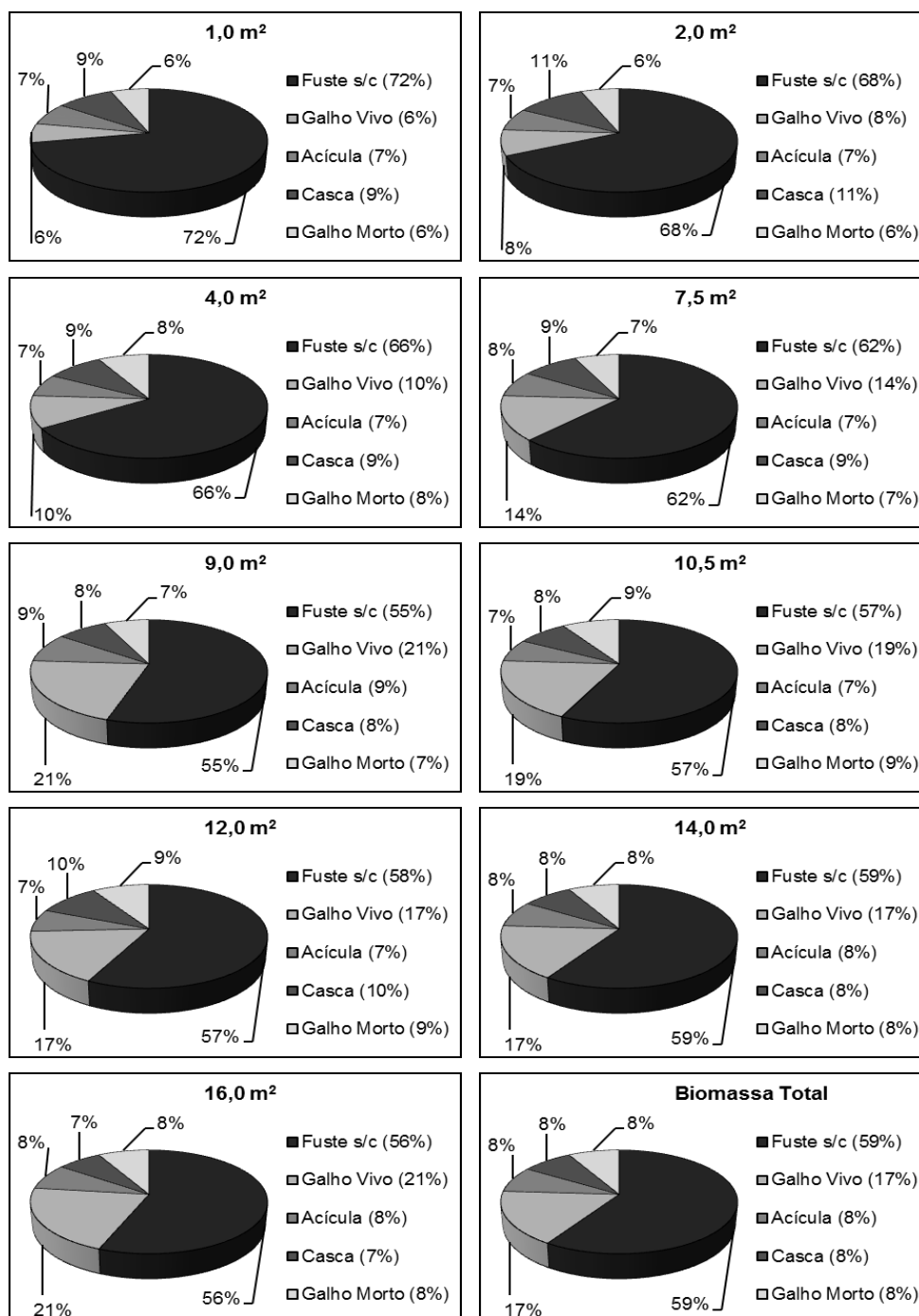


FIGURA 21 – PROPORÇÃO DE BIOMASSA PARA CADA ESPAÇAMENTO E BIOMASSA TOTAL GERAL CONSIDERANDO TODOS OS TRATAMENTOS.

A biomassa do componente galho vivo ficou entre 6,0% (1,0 m²) e 21,0% (9,0 m² e 16,0 m²). Com relação aos galhos mortos, os valores apresentaram uma leve oscilação percentual, entre 6,0% (1,0 m² e 2,0 m²) e 9,0% (10,5 m² e 12,0 m²). A proporção de biomassa das acículas também foi pequena, variando entre 7,0% (1,0 m², 2,0 m², 4,0 m², 7,5 m², 10,5 m² e 12,0 m²) e 9,0% (9,0 m²).

Os percentuais de biomassa do componente casca ficaram entre 7,0% (16,0 m²) e 11,0% (2,0 m²). Por fim, os galhos mortos apresentaram valores entre 6,0% (1,0 m² e 2,0 m²) e 9,0% (10,5 m² e 12,0 m²).

Madgwick e Kreh (1980) verificaram influência significativa do espaçamento na produção de biomassa aérea (massa seca) em 10 povoamentos de *Pinus taeda*, com diferentes índices de sítio.

Bernardo *et al.* (1998) relataram que o espaçamento de plantio pode afetar a alocação de biomassa nos diversos componentes da árvore. Segundo os autores, em espaço vitais mais amplos, houve uma redução na proporção da biomassa do fuste em relação a biomassa total, em razão do aumento da alocação de biomassa para folhas e demais componentes. Os resultados encontrados neste estudo estão de acordo com as constatações de Bernardo *et al.* (1998). Pois, nota-se uma redução do percentual de biomassa acumulada no componente fuste, conforme o aumento do espaço vital disponível. No tratamento com 1,0 m² a biomassa do fuste representou 72,0% do peso total árvore. Já no tratamento com 16,0 m² este mesmo componente representou 56,0%.

Barros Filho (2003) analisando a distribuição de biomassa em povoamentos de *Pinus taeda* L. de 2, 4 e 6 anos de idade, estimou a biomassa do tronco (casca e madeira) em 54,7%; 57,0% e 62,2%, sendo que a biomassa de acículas foi de 31,0%; 20,9% e 16,8%, respectivamente, apontando uma nítida inversão na prioridade de alocação de fotoassimilados com a idade dos povoamentos.

Gionco *et al.* (2011) inventariando a biomassa em um plantio de *Pinus elliottii* Eng. aos 23 anos de idade, com uma densidade de 444 árvores por hectare, relatou que o fuste representou aproximadamente 85,0% do total da biomassa seca, seguido dos galhos com uma participação de 10,0% e as acículas com 5,0%.

Bizon (2005) estudando a sustentabilidade de produção com base no balanço de nutrientes em oito povoamentos de *Pinus taeda* L., com idades entre 19 e 29

anos e número de árvores por hectare de 125 a 1.300, constatou uma partição de biomassa, considerando-se apenas os componentes acima do solo, de 77,6% de madeira do tronco, 12,1% de galhos, 7,0% de casca do tronco e 3,3% de acículas.

5.6.7. Biomassa total por hectare

A FIGURA 22 ilustra as variações na produção de biomassa total estimada por hectare das árvores de *Pinus taeda* L., aos nove anos de idade, em função do espaço vital. Nota-se que a produção de biomassa por unidade de área foi semelhante aos resultados constatados para a área basal e volume por hectare. Maior produção de biomassa total foi observada nos espaços vitais menos amplos, pois estes apresentam maior densidade.

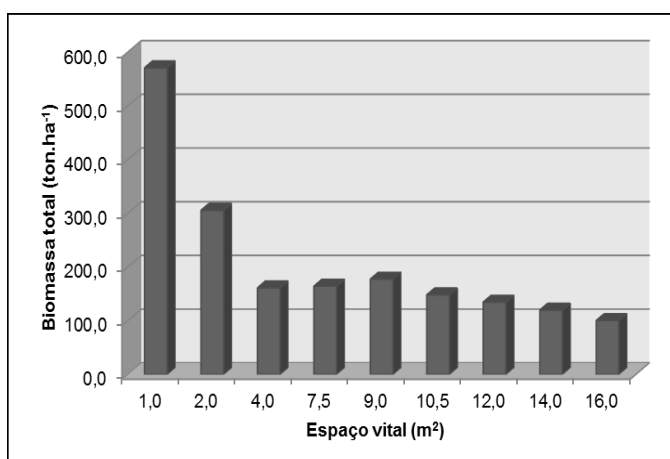


FIGURA 22 – VARIAÇÕES DA BIOMASSA TOTAL POR HECTARE DE *Pinus taeda* L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.

A produção de biomassa total estimada por hectare variou de 99,51 ton.ha⁻¹ (16,0 m²) a 296,92 ton.ha⁻¹ (1,0 m²). Estes tratamentos apresentaram uma densidade estimada de 620 árvores por hectare e 5.200 árvores por hectare, respectivamente. O tratamento com maior densidade e menos amplo (1,0 m²) foi responsável por uma produção 66,5% maior que o tratamento com espaço vital mais amplo (16,0 m²).

Siemon *et al.* (1980) e Madgwick e Kreh (1980) constataram a influência do espaço vital na produção de biomassa aérea de *Pinus radiata* (23 anos de idade) e *Pinus taeda* (diferentes idades e índices de sítio), respectivamente.

Estudando o efeito de diferentes espaçamentos em povoamentos de *Pinus resinosa*, Alemdag e Stiell (1982) relataram que o peso de matéria seca total da parte aérea também foi maior em espaçamentos menos amplos, naquele caso 190,6 ton.ha⁻¹ (1,52 m x 1,52 m) e 92,8 ton.ha⁻¹ (4,27 m x 4,27 m), aos 27 anos de idade.

Balbinot *et al.* (2003) visando à estimativa do carbono orgânico de um plantio de *Pinus taeda* L., aos 5 anos de idade, no município de Cambará do Sul, estado do Rio Grande do Sul, constataram valores de biomassa seca total de 41,5 ton.ha⁻¹, considerando um total de 1600 árvores por hectare, ou seja, espaçamento 3,0 m x 2,0 m (6,0 m²).

No estudo realizado por Sette Junior *et al.* (2006) na região de Rio Negrinho (SC), em povoamentos de *Pinus taeda* com diferentes idades (05 a 12 anos), observaram que a biomassa arbórea total, correspondente ao tronco da árvore variou de 12,04 ton.ha⁻¹ aos 5 anos e 147,83 ton.ha⁻¹ aos 12 anos.

Simulando a produção em volume para uma idade de rotação de 20 anos, por meio de software *SisPinus*, e, posteriormente estimando a biomassa com uso de equações alométricas para um plantio de *Pinus* spp. em diferentes classes de idade, Balbinot *et al.* (2008) constataram 56,93 ton.ha⁻¹ para idades inferiores a 5 anos e 167,91 ton.ha⁻¹ para idades entre 5 e 15 anos, em General Carneiro e Bituruna, PR.

Por fim, Schumacher *et al.* (2002) estudando o estoque de carbono em florestas de *Pinus taeda* plantadas no Rio Grande do Sul, encontraram 41,3 ton.ha⁻¹ de biomassa aos 5 anos de idade, 106,8 ton.ha⁻¹ de biomassa aos 10 anos de idade e 277,2 ton.ha⁻¹ de biomassa aos 15 anos de idade.

5.7. EFEITO DO ESPAÇO VITAL NO PESO DE CARBONO

O teste de Bartlett revelou homogeneidade de variâncias, ao nível de 5% de significância, para o peso de carbono de todos os componentes avaliados. Os resultados observados na análise de variância indicam que o espaçamento

influencia significativamente o peso de carbono dos compartimentos e do carbono total ($p < 0,05$). Diferenças estatísticas entre as médias dos tratamentos foram constatadas pelo teste de Tukey, conforme os valores dispostos na TABELA 7.

TABELA 7 - MÉDIAS DO PESO DE CARBONO E RESPECTIVAS ESTATÍSTICAS DE *Pinus taeda* L., AOS NOVE ANOS DE IDADE EM FUNÇÃO DOS ESPAÇAMENTOS UTILIZADOS.

Esp (m x m)	EV (m ²)	FS/C (kg.árv ⁻¹)	GV (kg.árv ⁻¹)	GM (kg.árv ⁻¹)	AC (kg.árv ⁻¹)	Casca (kg.árv ⁻¹)	Total (kg.árv ⁻¹)
1,0 x 1,0	1,0	18,0 a	1,6 a	1,4 a	1,8 a	2,5 a	25,4 a
2,0 x 1,0	2,0	18,2 a	2,3 a	1,5 a	1,9 a	3,0 a	26,9 a
2,0 x 2,0	4,0	18,6 a	2,9 a	2,1 a	2,0 a	2,8 a	28,4 a
3,0 x 2,5	7,5	33,2 b	7,8 b	3,6 b	4,6 b	5,3 b	54,4 b
3,0 x 3,0	9,0	38,8 bc	14,7 c	5,0 c	6,0 c	5,8 bc	70,3 cd
3,0 x 3,5	10,5	38,8 bc	13,2 c	6,0 cd	5,0 bc	5,6 bc	68,6 c
4,0 x 3,0	12,0	40,8 c	12,6 c	6,6 d	4,9 bc	6,3 c	71,2 cd
4,0 x 3,5	14,0	42,7 c	12,8 c	5,6 cd	5,9 c	6,5 c	73,6 d
4,0 x 4,0	16,0	39,1 bc	15,1 c	5,3 cd	5,7 c	5,4 b	70,7 cd

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de $p < 0,05$ pelo teste de Tukey. Esp= espaçamento; EV = espaço vital; FS/C = fuste sem casca; GV = galho vivo; GM = galho morto; AC = acícula.

5.7.1. Fuste sem casca

As médias do peso de carbono do fuste sem casca variaram de 18,0 kg.árvore⁻¹ (1,0 m²) a 42,7 kg.árvore⁻¹ (14,0 m²). Médias semelhantes estatisticamente foram verificadas entre os tratamentos com espaços vitais menos amplos (1,0 m²; 2,0 m² e 4,0 m²). Um grupo homogêneo de médias também foi verificado entre os tratamentos com espaços vitais intermediários (9,0 m² e 10,5 m²) e destes para com os tratamentos com espaços vitais mais amplos (12,0 m²; 14,0 m² e 16,0 m²). O espaço vital 7,5 m² também teve média semelhante aos espaçamentos com 9,0 m²; 10,5 m² e 16,0 m².

Os tratamentos com espaçamentos menos amplos (1,0 m²; 2,0 m² e 4,0 m²) apresentaram os menores valores médios de peso de carbono do fuste sem casca. Os tratamentos com espaços vitais intermediários (7,5 m²; 9,0 m² e 10,5 m²) tiveram valores médios próximos. Os maiores pesos médios de carbono do componente fuste sem casca foram verificados em espaços vitais mais amplos, 12,0 m²; 14,0 m² e 16,0 m², com valores de 40,8 kg.árvore⁻¹; 42,7 kg.árvore⁻¹ e 39,1 kg.árvore⁻¹, respectivamente. O espaço vital de 14,0 m² acumulou na biomassa da madeira do

fuste, em média, 57,0% de carbono que os tratamentos menos amplos (1,0 m²; 2,0 m² e 4,0 m²), conforme ilustra a FIGURA 23.

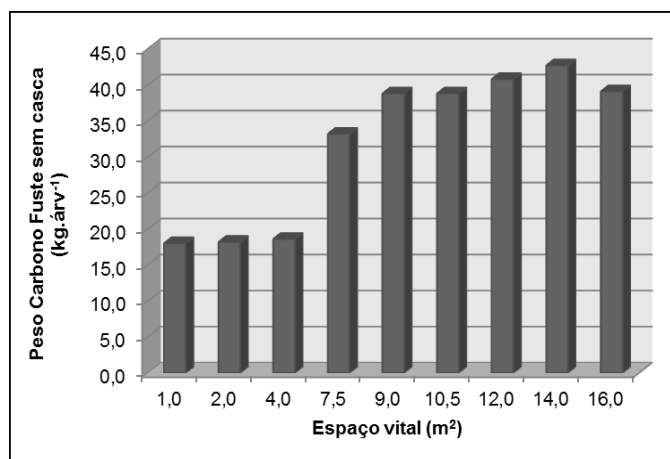


FIGURA 23 – VARIAÇÕES DO PESO DE CARBONO DO COMPONENTE FUSTE SEM CASCA DE *Pinus taeda* L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.

No trabalho realizado por Valério (2009) com *Pinus elliottii* Eng., o autor constatou um estoque médio de aproximadamente 20 kg de carbono no fuste de árvores individuais aos 9 anos, em espaço vital de 6,0 m². Valor próximo ao verificado neste estudo para o espaço vital com 4,0 m² (18,6 kg.árvore⁻¹), na mesma idade.

Miranda *et al.* (2012) quantificando o carbono individual de *Euterpe oleraceae* Mart., encontraram para a árvore média (7,94 cm de DAP), 3,87 kg.árvore⁻¹ de carbono no componente fuste. Já Marcene *et al.* (2006) relataram que árvores de *Gmelina arborea* Roxb., espécie tropical de rápido crescimento, aos 10 anos de idade acumularam em média 50 kg.árvore⁻¹ de carbono no fuste.

Schumacher *et al.* (2001), determinando o carbono individual do fuste sem casca de *Acacia mearnsii*, verificaram em média 21,7 kg.árvore⁻¹ para este componente, aos 6 anos de idade em espaço vital de 6,0 m², no município de Butiá, Rio Grande do Sul.

5.7.2. Galho vivo

Diferença estatística também foi verificada entre as médias do peso de carbono do componente galho vivo. Os tratamentos com 1,0 m²; 2,0 m² e 4,0 m² foram semelhantes entre si, mas diferiram dos demais. Já os tratamentos com espaços vitais intermediários (9,0 m² e 10,5 m²) e os tratamentos com espaçamentos mais amplos (12,0 m²; 14,0 m² e 16,0 m²) apresentaram médias semelhantes, quando comparados. O tratamento de 7,5 m² diferiu estatisticamente dos demais.

Os menores valores médios do peso de carbono dos galhos vivos foram constatados nos espaços vitais com 1,0 m²; 2,0 m² e 4,0 m², com 1,6 kg.árvore⁻¹; 2,3 kg.árvore⁻¹ e 2,9 kg.árvore⁻¹, respectivamente. Os maiores valores foram verificados nos espaços vitais intermediários e mais amplos, com destaque para os tratamentos com 9,0 m² e 16,0 m², com valores de 14,7 kg.árvore⁻¹ e 15,1 kg.árvore⁻¹, respectivamente. O espaço vital de 16,0 m² fixou em média, 85,0% mais carbono na biomassa dos galhos vivos que os espaços vitais com 1,0 m²; 2,0 m² e 4,0 m², conforme observa-se na FIGURA 24.

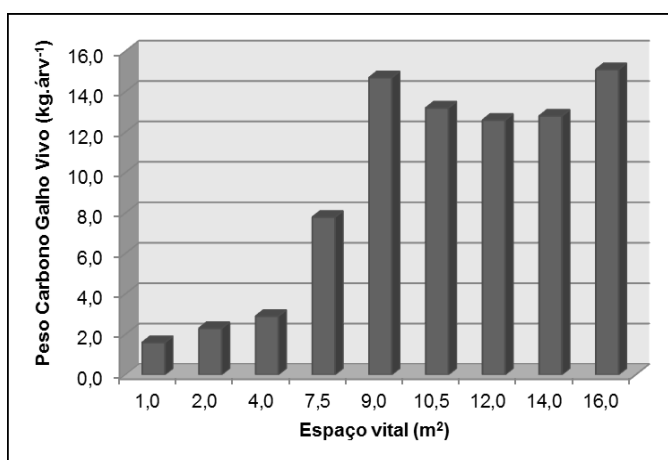


FIGURA 24 – VARIAÇÕES DO PESO DE CARBONO DO COMPONENTE GALHO VIVO DE *Pinus taeda* L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.

Quantificando a biomassa e o carbono em plantações de *Pinus elliottii* Eng., aos 9 anos de idade, Valério (2009) verificou valor médio aproximado de 4,0 kg.árvore⁻¹ de carbono para o componente galho vivo, em espaçamento de 3,0 m x 2,0 m (6,0 m²). Também, Schumacher *et al.* (2001) avaliando o peso de carbono

de *Acacia mearnsii* aos 6 anos de idade no Rio Grande do Sul, comprovaram em média 3,7 kg.árvore⁻¹ para componente galho vivo, em espaço vital de 6,0 m². Nota-se que os valores relatados pelos autores citados, apesar de tratarem-se de espécies distintas, estão abaixo do encontrado no presente estudo, no tratamento com espaço vital compatível (7,5 m²), com 7,8 kg.árvore⁻¹.

5.7.3. Galho morto

As médias do peso de carbono do componente galho morto apresentaram diferenças estatísticas pelo teste de Tukey. Os tratamentos com espaços vitais menos amplos (1,0 m²; 2,0 m² e 4,0 m²) tiveram médias semelhantes entre si, e diferiram dos demais. As médias dos tratamentos com espaçamentos intermediários (9,0 m² e 10,5 m²) foram semelhantes estatisticamente às médias dos tratamentos com espaços vitais maiores (14,0 m² e 16,0 m²). O espaço vital com 12,0 m² teve média homogênea quando comparado aos espaços vitais com 10,5 m²; 14,0 m² e 16,0 m².

Os menores valores médios do peso de carbono dos galhos mortos foram obtidos nos espaços vitais menos amplos, com 1,0 m²; 2,0 m² e 4,0 m², com valores de 1,4 kg.árvore⁻¹; 1,5 kg.árvore⁻¹ e 2,1 kg.árvore⁻¹, respectivamente. Em espaços vitais intermediários, os valores variaram entre 3,6 kg.árvore⁻¹ (7,5 m²) e 6,0 kg.árvore⁻¹ (10,5 m²), conforme ilustra a FIGURA 25.

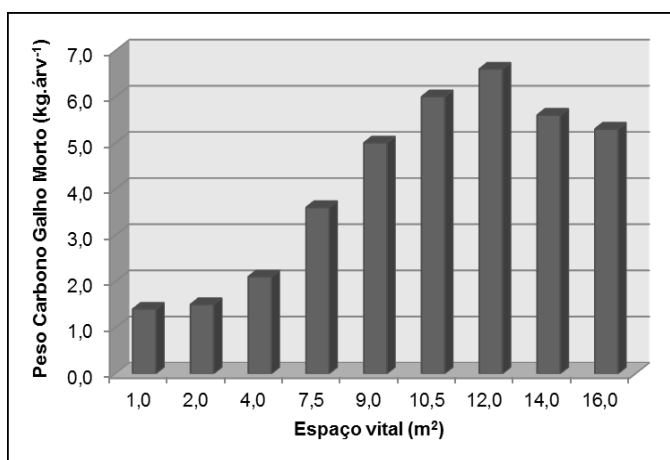


FIGURA 25 – VARIAÇÕES DO PESO DE CARBONO DO COMPONENTE GALHO MORTO DE *Pinus taeda* L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.

O maior valor médio foi 6,6 kg.árvore⁻¹, constatado no espaço vital com 12,0 m². O espaço vital de 12,0 m² acumulou, em média 75,0% mais carbono na biomassa de galhos mortos, que os espaços vitais menos amplos, com 1,0 m²; 2,0 m² e 4,0 m².

Valério (2009) determinando o carbono acumulado nos galhos mortos de *Pinus elliottii* Eng., aos 9 anos, em espaço vital com 6,0 m², encontrou em média aproximadamente 1,0 kg de carbono por árvore. Valor próximo ao encontrado nesta pesquisa no tratamento com espaço vital de 1,0 m². Também, Schumacher *et al.* (2001) relataram valor médio de 0,8 kg de carbono por árvore para a fração galho morto, em espaço vital de 6,0 m², avaliando a biomassa e o carbono de *Acacia mearnsii* aos 6 anos de idade, no Rio Grande do Sul,

5.7.4. Acícula

As médias do peso de carbono do componente acícula ficaram entre 2,5 kg.árvore⁻¹ e 6,5 kg.árvore⁻¹. Semelhança estatística foi verificada entre as médias dos tratamentos com espaços vitais menos amplos (1,0 m²; 2,0 m² e 4,0 m²). Os tratamentos com espaços vitais intermediários (9,0 m² e 10,5 m²) apresentaram médias semelhantes aos tratamentos com espaçamentos mais amplos (12,0 m²; 14,0 m² e 16,0 m²). O espaço vital de 7,5 m² apresentou média homogênea estatisticamente aos espaçamentos com 10,5 m² e 12,0 m², mas diferente dos demais.

Os menores valores médios do peso de carbono do componente acícula foram constatados nos espaços vitais com 1,0 m²; 2,0 m² e 4,0 m², com valores de 1,8 kg.árvore⁻¹; 1,9 kg.árvore⁻¹ e 2,0 kg.árvore⁻¹, respectivamente. Já os tratamentos com espaços vitais intermediários revelaram valores mais elevados, sendo o maior peso de carbono (6,0 kg.árvore⁻¹) encontrado no tratamento com 9,0 m². Os tratamentos com espaços mais amplos, quais sejam 12,0 m²; 14,0 m² e 16,0 m² tiveram valores de 4,9 kg.árvore⁻¹; 5,9 kg.árvore⁻¹ e 5,7 kg.árvore⁻¹, respectivamente.

O espaço vital de 9,0 m² fixou em média, 68,0% mais carbono nos galhos mortos que os espaços vitais menos amplos (1,0 m²; 2,0 m² e 4,0 m²), conforme observa-se na FIGURA 26.

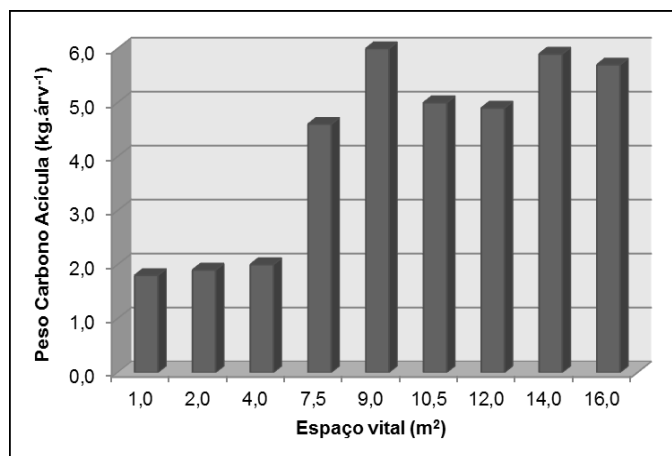


FIGURA 26 – VARIAÇÕES DO PESO DE CARBONO DO COMPONENTE ACÍCULA DE *Pinus taeda* L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.

Valério (2009) avaliando o estoque de carbono acumulado em árvores de *Pinus elliottii* Eng., aos 9 anos de idade, encontrou em média aproximadamente 4,5 kg de carbono por árvore no componente acícula, em espaço vital de 6,0 m². Valor bastante próximo ao encontrado no presente estudo no tratamento com espaço vital de 7,5 m² (4,6 kg.árvore⁻¹).

5.7.5. Casca

O peso do carbono do componente casca variou de 2,5 kg.árvore⁻¹ a 6,5 kg.árvore⁻¹. Médias semelhantes foram verificadas entre os tratamentos com espaços vitais intermediários (7,5 m²; 9,0 m² e 10,5 m²) e o tratamento com espaço vital mais amplo (16,0 m²). Estes tratamentos apresentaram diferença estatística quando comparados aos espaçamentos menos amplos (1,0 m²; 2,0 m² e 4,0 m²). Homogeneidade de médias também foi verificada entre os tratamentos com 9,0 m²; 10,5 m²; 12,0 m² e 14,0 m².

Os espaços vitais com 1,0 m²; 2,0 m² e 4,0 m² foram responsáveis pelos menores valores médios de peso de carbono da casca, com 2,5 kg.árvore⁻¹; 3,0 kg.árvore⁻¹ e 2,8 kg.árvore⁻¹, respectivamente. Os tratamentos com espaçamentos intermediários (7,5 m²; 9,0 m² e 10,5 m²) tiveram valores superiores

aos espaçamentos menos amplos e inferiores comparados aos espaços vitais mais amplos. As maiores médias de peso de carbono do componente casca foram encontradas nos espaços vitais mais amplos (12,0 m²; 14,0 m² e 16,0 m²) com 6,3 kg.árvore⁻¹; 6,5 kg.árvore⁻¹ e 5,4 kg.árvore⁻¹, respectivamente. O espaço vital com 14,0 m² acumulou em média, 57,0% mais carbono na biomassa da casca que os espaços vitais menos amplos (1,0 m²; 2,0 m² e 4,0 m²), conforme ilustra a FIGURA 27.

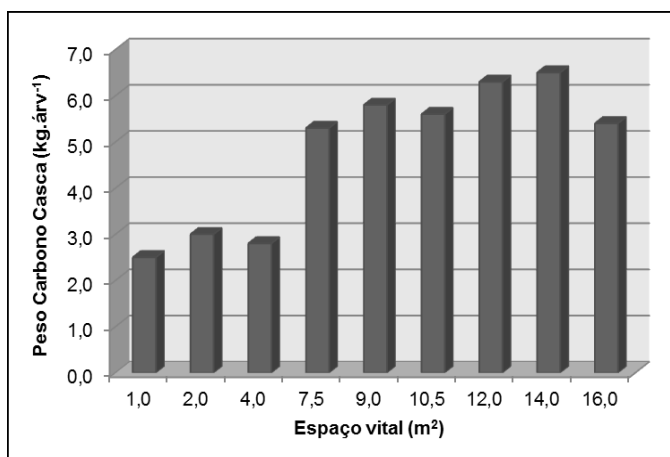


FIGURA 27 – VARIAÇÕES DO PESO DE CARBONO DO COMPONENTE CASCA DE *Pinus taeda* L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.

Valério (2009) quantificou o peso de carbono médio aproximado do componente casca em 4,0 kg.árvore⁻¹, em espaço vital de 6,0 m² para *Pinus elliottii* Eng. aos 9 anos de idade, no município de Clevelândia, Paraná. Este resultado é superior ao encontrado no presente estudo em tratamentos menos amplos (1,0 m²; 2,0 m² e 4,0 m²) e inferior aos valores obtidos nos demais espaços vitais. Também, Schumacher *et al.* (2001) determinaram o carbono da casca de árvores de *Acacia mearnsii*, aos 6 anos de idade no Rio Grande do Sul, e constataram em média 1,8 kg por árvore em espaço vital com 6,0 m² (1690 árvores.ha⁻¹).

5.7.6. Carbono total por árvore

Com relação ao peso de carbono total por árvore (fuste, galhos vivos, galhos mortos, acículas e casca) de *Pinus taeda* L., os valores variaram de 25,4 kg.árvore⁻¹ a 73,6 kg.árvore⁻¹. Semelhança estatística foi constatada entre as médias dos tratamentos com espaços vitais menos amplos (1,0 m²; 2,0 m² e 4,0 m²), entretanto diferiram das demais. Já os tratamentos com espaços vitais intermediários (9,0 m² e 10,5 m²) foram semelhantes estatisticamente aos espaçamentos maiores (12,0 m² e 16,0 m²). O espaço vital com 14,0 m² também apresentou média homogênea aos tratamentos com 9,0 m²; 12,0 m² e 16,0 m², porém diferiu dos demais.

Maiores valores do peso de carbono total foram obtidos em espaços vitais intermediários e nos espaços vitais mais amplos. O maior valor médio encontrado foi de 73,6 kg.árvore⁻¹, no tratamento com espaço vital com 14,0 m². Os menores pesos de carbono total foram verificados nos espaçamentos menos amplos, sejam 1,0 m²; 2,0 m² e 4,0 m², com valores médios bastante próximos, 25,4 kg.árvore⁻¹; 26,9 kg.árvore⁻¹ e 28,4 kg.árvore⁻¹, respectivamente. O espaço vital com 14,0 m² fixou, em média, 63,0% mais carbono na biomassa aérea de *Pinus taeda* L., que os espaços vitais menos amplos (1,0 m²; 2,0 m² e 4,0 m²), conforme nota-se na FIGURA 28.

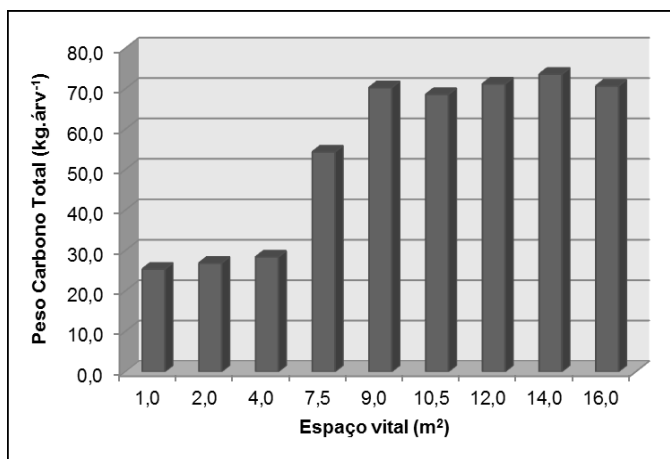


FIGURA 28 – VARIAÇÕES DO PESO DE CARBONO TOTAL POR ÁRVORE DE *Pinus taeda* L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.

Os percentuais de carbono fixados na biomassa das 81 árvores de *Pinus taeda* L., aos nove anos de idade, em diferentes espaçamentos estão ilustrados na

FIGURA 29, onde se nota que, a proporção referente ao fuste sem casca variou entre 55,0% (9,0 m² e 16,0 m²) 71,0% (1,0 m²).

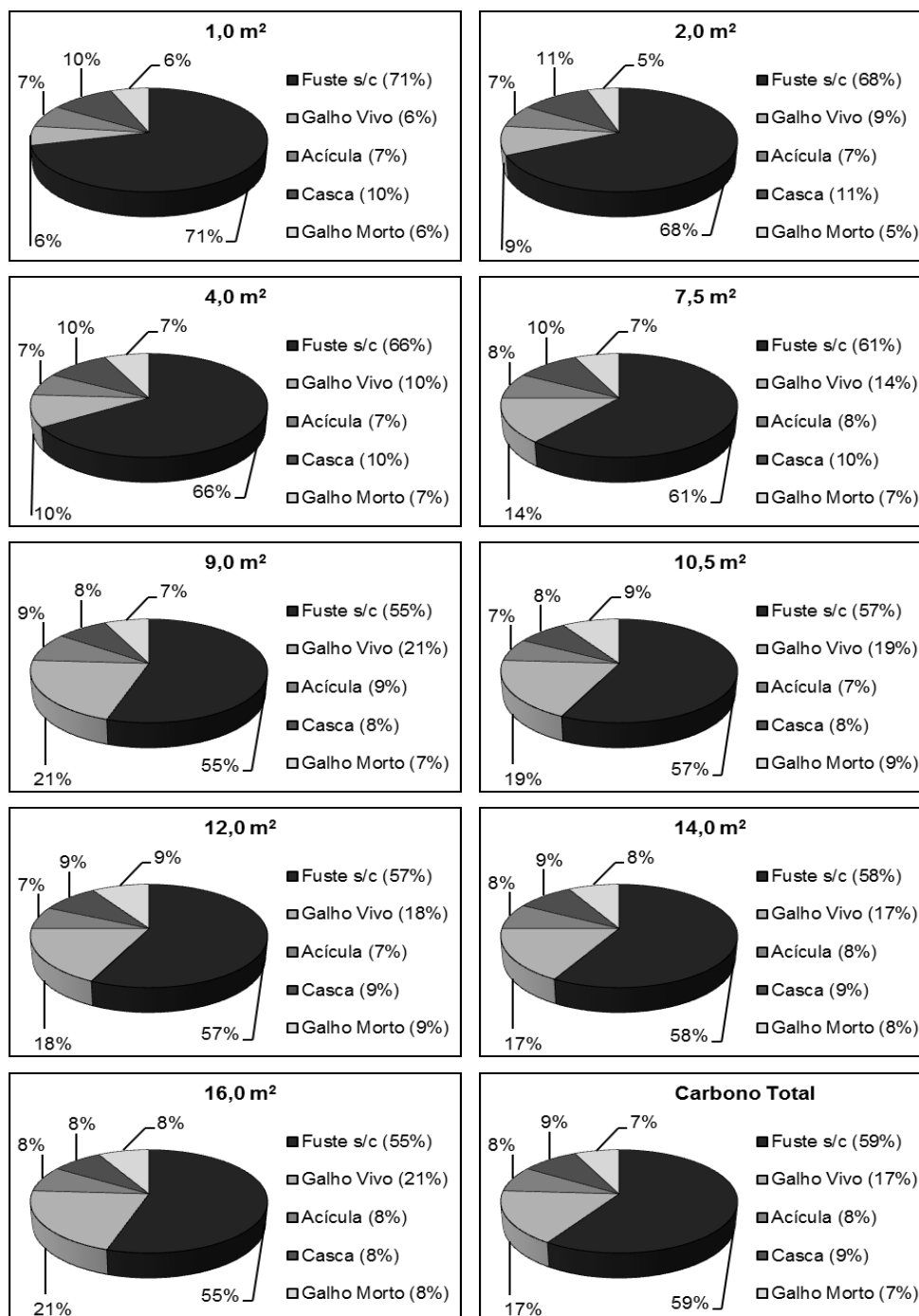


FIGURA 29 – PROPORÇÃO DE CARBONO PARA CADA ESPAÇAMENTO E CARBONO TOTAL GERAL CONSIDERANDO TODOS OS TRATAMENTOS.

Balbinot *et al.* (2003), com o objetivo de estimar a quantidade de carbono orgânico em um plantio de *Pinus taeda* com 5 anos de idade, em Cambará do Sul (RS), constataram 11,7 kg.árvore⁻¹ de carbono orgânico em espaço vital de 6,0 m² (3,0 m x 2,0 m).

O componente galho vivo apresentou percentual de carbono na biomassa entre 6% (1,0 m²) e 21% (9,0 m² e 16,0 m²). Para as acículas, os valores tiveram uma leve oscilação, com 7% (1,0 m², 2,0 m², 4,0 m², 10,5 m² e 12,0 m²) e 9% (9,0 m²).

Com relação ao percentual de carbono do componente casca, verificou-se valores de 8% (9,0 m², 10,5 m² e 16,0 m²) e 11% (2,0 m²). Já para o componente galho morto, a proporção de carbono ficou entre 5% (2,0 m²) e 9% (10,5 m² e 12,0 m²).

A proporção de carbono total, em média, ou seja, considerando as médias de todos os espaços vitais, foi a seguinte: fuste sem casca (59%), galho vivo (17%), casca (9%), acícula (8%) e galho morto (7%). Caldeira *et al.* (2001), em pesquisa sobre a quantificação da biomassa acima do solo para *Acacia mearnsii* de Wild., constataram a seguinte distribuição para biomassa e carbono: 20% nas folhas; 19,5% nos galhos vivos; 2,8% nos galhos mortos; 11,8% na casca, e 45,9% na madeira.

5.7.7. Carbono total por hectare

Maiores quantidades de carbono por hectare foram armazenadas em tratamentos com espaços vitais menos amplos (1,0 m² e 2,0 m²). Em termos percentuais, estes tratamentos fixaram, em média, 66,8% mais carbono na biomassa por unidade de área, quando comparados ao espaço vital mais amplo (16,0 m²). Este fato é justificado pelo maior número de árvores por hectare pertencente a estes espaçamentos, com 5.200 e 4360 árvores.hectare⁻¹, respectivamente, conforme ilustra a FIGURA 30.

Sabe-se que a fixação de carbono na biomassa é variável de acordo com as características da espécie, com a idade da planta e com as técnicas silviculturais. Neste aspecto, Paixão *et al.* (2006) observaram, um estoque médio de carbono em

floresta de *Eucalyptus grandis*, sem casca, em espaçamento de plantio de 3 m x 2 m (6,0 m²), com idade de 6 anos, igual a 71,13 ton.ha⁻¹.

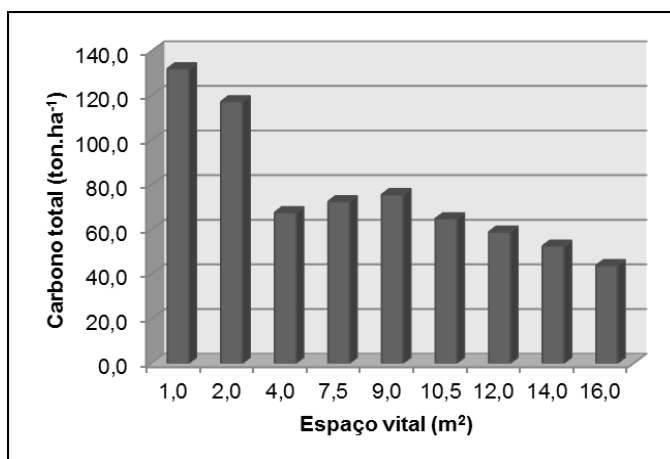


FIGURA 30 – VARIAÇÕES DO PESO DE CARBONO TOTAL POR HECTARE DE *Pinus taeda* L. AOS NOVE ANOS DE IDADE, NOS ESPAÇAMENTOS ESTUDADOS.

Schumacher e Wistschoreck (2004) em um inventário de carbono em povoamento de eucalipto na região sul do Brasil, obtiveram um estoque de carbono aos 8 anos de idade, de 97,86 ton.ha⁻¹.

Schumacher *et al.* (2002) avaliando o estoque de carbono em povoamentos de *Pinus taeda* L., no Estado do Rio Grande do Sul, encontraram 18,7 ton.ha⁻¹ de carbono orgânico no povoamento com 5 anos de idade, 48,5 ton.ha⁻¹ de carbono orgânico no povoamento com 10 anos e 114,8 ton.ha⁻¹ de carbono orgânico no povoamento com 15 anos. O valor encontrado pelo referido autor na idade de 10 anos, aproxima-se do verificado no presente estudo em espaço vital mais amplo (16,0 m²), com 43,8 ton.ha⁻¹.

Sette Junior *et al.* (2006) realizaram um estudo com a finalidade de quantificar a captura de carbono orgânico em povoamentos de *Pinus taeda* com diferentes idades (05 a 12 anos), na região de Rio Negrinho (SC), coletando dados de tronco de 157 árvores. Os autores observaram que, o total de carbono orgânico capturado, considerando o volume total de madeira por hectare de cada idade avaliada, variou de 6,5 ton.ha⁻¹ aos 5 anos e 82,2 ton.ha⁻¹ aos 12 anos de idade.

Apesar dos resultados obtidos por Schumacher *et al.* (2002) e Sette Junior *et al.* (2006) serem compatíveis com os valores encontrados no presente estudo, torna-

se importante ressaltar que a metodologia utilizada pelos autores citados não foi a mesma aplicada neste trabalho. Como são escassos os trabalhos referentes ao crescimento, biomassa e carbono orgânico em diferentes espaços vitais disponíveis na literatura, optou-se por citar tais trabalhos pois tratam do mesmo gênero florestal e em alguns casos, da mesma espécie avaliada.

5.8. MODELAGEM DA BIOMASSA TOTAL POR ÁRVORE E PESO DE CARBONO TOTAL POR ÁRVORE

As variáveis dependentes nos modelos ajustados foram a biomassa total por árvore e o peso de carbono total por árvore. Na TABELA 8 constam os coeficientes obtidos no ajuste para cada equação e as respectivas estatísticas de ajuste e precisão.

No desenvolvimento do modelo aritmético pelo processo *stepwise*, a variável $DAP^2 \cdot HT$ foi a selecionada, pois nenhuma das outras variáveis testadas foi significativa para a entrada no modelo.

TABELA 8 – COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DAS EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA BIOMASSA TOTAL POR ÁRVORE E PESO DE CARBONO TOTAL POR ÁRVORE PARA 81 ÁRVORES DE *Pinus taeda* L.

Variável	Estatísticas		
	Modelo	Syx%	R ² ajst
BT	$BT = 0,0535 * (DAP^{1,8820}) * (HT^{0,7566})$	13,9	0,9618
	$BT = 2,4682 + 0,0187 * (DAP^2 * HT)$	14,5	0,9591
PCT	$PCT = 0,0225 * (DAP^{1,8759}) * (HT^{0,7800})$	14,0	0,9610
	$PCT = 1,1727 + 0,0082 * (DAP^2 * HT)$	14,6	0,9584

BT = Biomassa total por árvore. PCT = Peso de carbono total por árvore.

Analisando os valores contidos na TABELA 8, nota-se que o modelo de Schumacher-Hall apresentou estatísticas de ajuste levemente superiores, tanto para a biomassa total (Syx = 13,9% e R²ajst = 0,9618), como para o peso de carbono total por árvore (Syx = 14,0% e R²ajst = 0,9610).

Soares e Oliveira (2002) estudando equações para estimar a quantidade de carbono da parte aérea de árvores de eucalipto em Viçosa, Minas Gerais, ajustaram o modelo de Schumacher-Hall. Os autores constataram os seguintes coeficientes de

determinação (R^2_{ajst}) e erro padrão da estimativa (Syx%) para os componentes: fuste sem casca ($R^2_{ajst} = 0,99$ e Syx% = 16,30); fuste com casca ($R^2_{ajst} = 0,99$ e Syx% = 14,98); galhos ($R^2_{ajst} = 0,89$ e Syx% = 39,37) e folhas ($R^2_{ajst} = 0,86$ e Syx% = 57,33).

Urbano (2007) utilizando variáveis combinadas de altura e diâmetro para estimativa de carbono em bracatingais nativos na região metropolitana de Curitiba, encontrou $R^2_{ajst} = 0,962$ e Syx% = 22,14%. Em plantios de *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda*, Sanquetta *et al.* (2003c) também utilizaram a combinação das variáveis altura e diâmetro, para estimar o carbono, encontrando coeficiente de determinação acima de 0,90 e erro padrão da estimativa abaixo de 10%.

Na FIGURA 31 podem ser observadas as distribuições de resíduos para as equações ajustadas, onde visualiza-se uma distribuição muito semelhante ao longo da linha de regressão, com uma leve tendência de superestimativa para valores inferiores a 50,0 kg.árvore⁻¹.

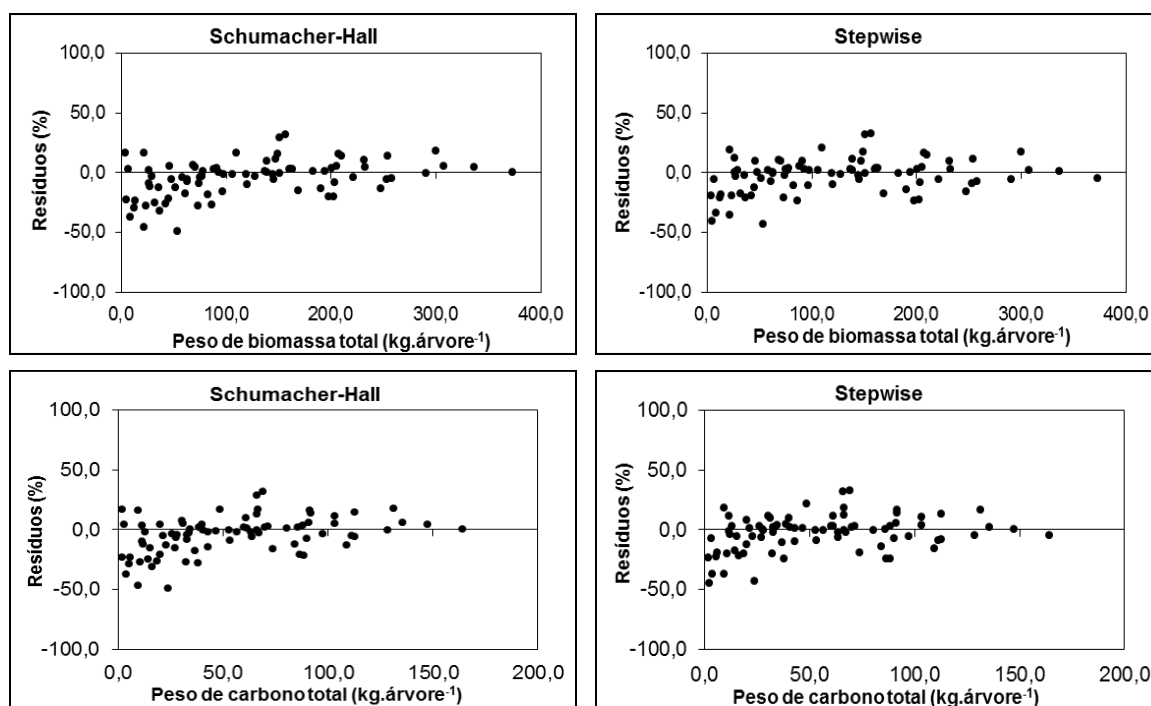


FIGURA 31 – DISTRIBUIÇÃO DOS RESÍDUOS DOS MODELOS AJUSTADOS PARA BIOMASSA TOTAL POR ÁRVORE E PESO DE CARBONO TOTAL POR ÁRVORE.

Com base nas estatísticas de ajuste e na distribuição gráfica de resíduos torna-se possível afirmar que os modelos ajustados podem ser utilizados na estimativa de biomassa e carbono de *Pinus taeda* L. O modelo de Schumacher-Hall apresentou melhores resultados, confirmando assim os relatos encontrados na literatura (SANQUETTA *et al.*, 2001; SOARES e OLIVEIRA, 2002 e REZENDE, 2002), referentes ao seu desempenho.

5.9. ANÁLISE GERAL DO EFEITO DO ESPAÇO VITAL NO CRESCIMENTO, BIOMASSA E CARBONO DE *Pinus taeda* L.

O diâmetro médio é fundamental no processo de tomada de decisão no âmbito da colheita florestal, bem como na decisão relacionada ao uso final da madeira, pois está diretamente ligado com o volume individual. Conforme esperado, os maiores valores médios de diâmetro (DAP) por árvore foram constatados em espaços vitais intermediários e espaços vitais mais amplos, ou seja, em espaçamentos com menor número de árvores por unidade de área. Maiores diâmetros em *Pinus* são produzidos com a redução da densidade, fato também observado em outras pesquisas como, por exemplo: Pacheco (2013), Inoue *et al.* (2011a), Inoue *et al.* (2011b); Pauleski (2010), Lima (2010), Chies (2005) e Sanquetta *et al.* (2003b).

A altura das árvores de *Pinus taeda* L., aos nove anos de idade, não sofreu influência do espaço vital. Este resultado está de acordo com alguns trabalhos como, por exemplo: Pacheco (2013), Inoue *et al.* (2011a), Pauleski (2010), Leite *et al.* (2006), Chies (2005) e Sanquetta *et al.* (2003b).

O volume por árvore apresentou comportamento semelhante ao apresentado pela variável DAP, ou seja, tendência de maiores valores médios em espaços vitais intermediários e mais amplos. Outros trabalhos encontrados na literatura específica comprovam tais resultados como, por exemplo: Lima (2010), Pinkard e Neilsen (2003) e Sanquetta *et al.* (2003b).

A área basal e o volume por hectare apresentaram comportamento inverso ao diâmetro médio em relação ao crescimento nos diferentes espaços vitais. Os maiores valores de área basal e volume por hectare foram encontrados nos espaços

vitais menos amplos. Apesar dos espaçamentos com maiores densidades de plantio apresentarem diâmetros menores e maiores taxas de mortalidade, ainda assim possuem um maior número de árvores por unidade de área, o que influencia diretamente na produção final. Diversos autores relataram resultados semelhantes como, por exemplo: Lima *et al.* (2013), Pacheco (2013), Inoue *et al.* (2011b), Lima (2010), Costas *et al.* (2003a), Costas *et al.* (2003b) e Pinkard e Neilsen (2003).

É importante enfatizar que a elevada produção por unidade de área, pode estar relacionada a ocorrência de um provável erro na estimativa do número de árvores por hectare, em alguns espaçamentos. De acordo com Pacheco (2013), a superestimativa dos valores em espaçamentos menos amplos, certamente, é decorrente da inferência da sobrevivência por hectare, obtida com parcelas pequenas que representaram tais tratamentos.

Maiores valores médios de biomassa total por árvore e peso de carbono total por árvore foram constatados nos espaços vitais mais amplos. O maior espaço vital disponível entre plantas proporcionou um maior acúmulo de biomassa nos diferentes compartimentos, possivelmente devido ao melhor aproveitamento dos fatores do meio, como: disponibilidade de água, luz (radiação), solo e nutrientes. Entretanto, tratando-se da produção de biomassa e carbono total por hectare o resultado é inverso, ou seja, maiores valores foram verificados em espaços vitais menos amplos. Este fato é justificado pelo grande número de indivíduos por unidade de área, caracterizando maior grau de ocupação do terreno.

Foi possível verificar que a biomassa total por árvore e o peso de carbono total por árvore, considerando todos os tratamentos (espaços vitais), se distribuiu na ordem decrescente: fuste sem casca, galho vivo, acícula, galho morto e casca. Os componentes: acícula, galho morto e casca apresentaram o mesmo percentual geral de biomassa (8,0%). Neste aspecto, Caldeira (2003) relatou que a distribuição de biomassa nos diferentes órgãos da planta varia de espécie para espécie, e em uma população com a mesma espécie. Para Caldeira *et al.* (2001), a proporção de biomassa da madeira do fuste parece depender da densidade populacional e do tipo de solo.

O componente fuste, dentre os demais componentes, tem maior representatividade com relação ao seu peso. Urbano (2007) estudando a

quantificação da biomassa e do carbono de *Mimosa scabrella* nativa na região metropolitana de Curitiba, comentou que este componente representou em média 69,8% da biomassa acima do solo. Neste aspecto, Balbinot *et al.* (2008) e Sanquetta *et al.* (2003c) afirmaram que, o fuste representa mais de 50% da biomassa para *Pinus taeda* L., fato também verificado neste estudo.

Lisboa (2010) também observou que os espaços vitais mais amplos favorecem o crescimento individual de espécies florestais, em comparação aquelas dos povoamentos com espaçamentos mais fechados. Isto, normalmente reflete em maior produção de biomassa (tronco, galhos, folhas e raízes) das árvores, que irá afetar diretamente a capacidade de estocar carbono pelas plantas que, segundo Sanquetta *et al.* (2003c) está relacionada à biomassa e ao teor de carbono fixado.

Estudos referentes à produção de biomassa e carbono em função do espaço vital com espécies do gênero *Pinus* são escassos (SIEMON *et al.*, 1980; MADGWICK e KREH, 1980; ALEMDAG e STIELL, 1982). Entretanto alguns autores que trabalharam com outras espécies encontraram resultados semelhantes aos obtidos nesta pesquisa com relação ao efeito do espaçamento, como, por exemplo: Paulino (2012), Santos (2011), Oliveira Neto *et al.* (2003), Bernardo *et al.* (1998), Oliveira *et al.* (1999) e Ladeira (1999).

Ao analisar os resultados obtidos neste estudo, principalmente para as variáveis: diâmetro, altura total, área transversal, volume por árvore e produção de biomassa, nota-se que o espaço vital de 7,5 m² pode ser utilizado quando o produtor florestal ainda não sabe para onde irá destinar o seu produto final. Além disso, maior proporção de biomassa de fuste foi observada em espaçamentos menos amplos (FIGURA 32), assim indicando que espaços vitais com até 7,5 m² podem ser manejados visando a produção de madeira no regime “*pulpwood*”, confirmando as constatações de Pacheco (2013).

De acordo com Pacheco (2013), os espaços vitais com 1,0 m²; 2,0 m²; 4,0 m² podem ser utilizados no regime de manejo denominado “*pulpwood*” em uma rotação menor, com vistas à produção de biomassa. Os espaços vitais com 9,0 m²; 10,5 m²; 12,0 m²; 14,0 m² e 16,0 m² podem ser recomendados para um regime de manejo denominado “*utility*”, em rotações mais longas visando à obtenção de multiprodutos.

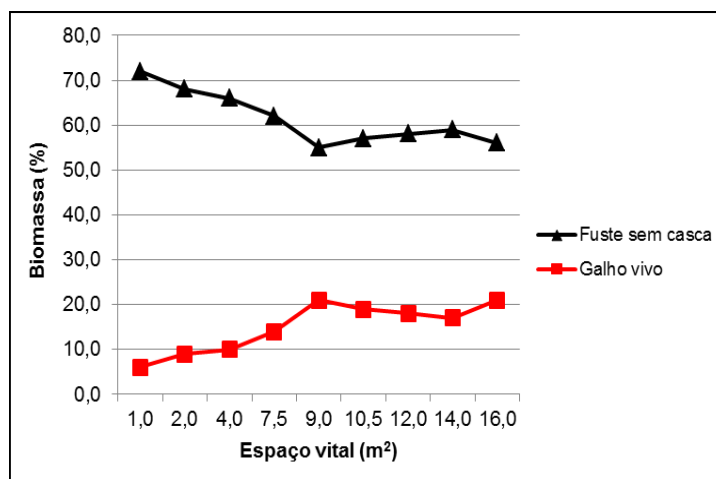


FIGURA 32 – VARIAÇÕES NA PROPORÇÃO DE BIOMASSA DO FUSTE SEM CASCA E DO COMPONENTE GALHO VIVO EM FUNÇÃO DO ESPAÇO VITAL.

Os resultados obtidos na presente pesquisa, revelam uma tendência de aumento na proporção da biomassa de galhos, conforme o espaço vital é ampliado (FIGURA 32). Segundo Sutton (1970), a produção acentuada de galhos em espaçamentos maiores pode trazer eventuais prejuízos à produção de madeira para laminação e serraria.

Para Inoue *et al.* (2011b), com o aprimoramento das tecnologias industriais, a utilização de madeira de diferentes dimensões possibilita que se aproveite matéria prima oriunda de árvores mais jovens, de menores diâmetros. Assim, o uso de espaçamentos menores abre possibilidades de produção mais eficaz por área plantada. A utilização de toras de menor diâmetro de árvores mais jovens pode vir a compensar os custos iniciais do empreendimento.

É essencial que a escolha do espaço vital ideal para um determinado material genético considere alguns fatores como, por exemplo, a dinâmica de crescimento da floresta, a sustentabilidade da produção de um determinado local e o sistema de colheita florestal. Torna-se importante também, a análise do efeito do espaço vital sobre a produtividade do local, ao longo do tempo, ou seja, em idades mais avançadas.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Considerando-se as condições do experimento com *Pinus taeda* L., na idade de nove anos, pode-se concluir:

- O crescimento em diâmetro (DAP), área transversal, área basal e volume por árvore e hectare foram afetados pelo espaço vital.
- A altura total não sofreu influência do espaço vital.
- A produção de biomassa e carbono foi afetada pelo espaço vital.
- O acúmulo de biomassa e peso de carbono ocorreu prioritariamente na madeira do fuste, seguida pelos galhos vivos, casca, acículas e galhos mortos.
- Redução na proporção de biomassa e carbono do componente fuste sem casca conforme a ampliação do espaço vital foi constatada.
- Espaços vitais menos amplos (1,0 m²; 2,0 m² e 4,0 m²) podem ser utilizados para a produção de biomassa (regime de manejo “*pulpwood*”), em rotações curtas.
- Espaços vitais intermediários (9,0 m² e 10,5 m²) e mais amplos (12,0 m²; 14,0 m² e 16,0 m²) podem ser escolhidos para geração de multiprodutos (regime de manejo “*utility*”), em rotações longas.
- Recomenda-se o uso do espaço vital com 7,5 m² quando o produtor florestal ainda não definiu o destino final do seu produto. Assim, torna-se possível optar tanto pela produção de biomassa, como para a obtenção de multiprodutos.
- As equações para a estimativa de biomassa e carbono ajustadas com os dados experimentais (DAP e altura total) podem ser uma boa alternativa para aplicação em plantações de mesma espécie e idade.

7. REFERÊNCIAS

ABRAF: **Anuário estatístico da associação brasileira de produtores de florestas plantadas**. Brasília: ABRAF, ano base 2012. 90 p. 2013.

AGUIAR, A. V.; SOUZA, V. A.; SHIMIZU, J. Y. **Espécies de pínus mais plantadas no Brasil**. 2013. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivadoPinus_2ed/Especies_Pinus_taeda.html> Acesso em: Abr. 2013.

AGYEMAN, V.K., SWAINE, M.D.; THOMPSON, J. Responses of tropical forest tree seedlings to irradiance and the derivation of a light response index. **Journal of Ecology** 87:815-827, 1999.

ALEMDAG, I. S. **Manual of data collection and processing for the development of forest biomass relationships**. Canada: Minister of Supply and Services of Canada, 1980. 38 p.

ALEMDAG, I. S.; STIELL, W. M. Spacing and age effects on biomass production in red pine plantations. **The Forestry Chronicle**, 58 (5): 220-24, 1982.

APPENZELLER, T. Ciclo natural: como o carbono circula na atmosfera. **National Geographic Brasil**, Edição Especial, ano 12, n. 139, out. 2011, p. 42-47.

ARCE, J. E. **Manejo Florestal**. Curitiba: UFPR, 2002. 41 p. Apostila do curso regular de Manejo Florestal da Faculdade de Ciências Florestais da Universidade Federal do Paraná.

ASSMANN, E. **The principle of forest yield study**. New York: Pergamon Press. 1970.

BALBINOT, R.; SCHUMACHER, M. V.; WATZLAWICK, L. F.; SANQUETTA, C. R. Inventário de carbono orgânico em um plantio de *Pinus taeda* aos 5 anos de idade no Rio Grande do Sul. **Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, v. 5, n. 1, p. 59-68, 2003.

BALBINOT, R.; VALÉRIO, A. F.; SANQUETTA, C. R.; CALDEIRA, M. V. W.; SILVESTRE, R. Estoque de carbono em plantações de *Pinus* spp. em diferentes idades no sul do estado do Paraná. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 2, p. 317-324, 2008.

BALLONI, E. A.; SIMÕES, J. W. **O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais**. IPEF. 16 p. (Série Técnica, 3) 1980.

BARROS FILHO, N. F. **Produção e partição de biomassa e de nutrientes e recomendações de fertilizantes para o *Pinus taeda* L.** 2003. 56 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2003.

BERGER, R. **Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da fertilidade**. 2000. 106 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2000.

BERNARDO, A. L.; REIS, M. G.; REIS, G. G.; HARRISON, R. B.; FIRME, D. J. Effect of spacing on growth and biomass distribution in *Eucalyptus camaldulensis*, *E. pellita* and *E. urophylla* plantations in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, Florida, v. 104, n. 1-3, p. 1-13, 1998.

BIZON, J. M. C. **Avaliação da sustentabilidade nutricional de plantios de *Pinus taeda* L. usando um balanço de entrada-saída de nutrientes**. 2005. 95 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – ESALQ/USP, Piracicaba, São Paulo, 2005.

BOGNOLA, I. A.; RIBEIRO JUNIOR, P. J.; SILVA, E. A. A; LINGNAU, C.; HIGA, A. R. Modelagem uni e bivariada da variabilidade espacial de rendimento de *Pinus taeda* L. **Floresta**, v. 38, n. 2, 13 p. 2008.

BOTELHO, S. A. Espaçamento. In: SCOLFORO, J. R. S. **Manejo florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. p. 381-406.

BURGER, D. **Ordenamento Florestal: a produção florestal**. 4º Ed. Curitiba: FUPEF, 1980. 124 p.

CALDEIRA, M. V. W. **Determinação de biomassa e nutrientes em uma floresta ombrófila mista montana em General Carneiro, Paraná**. 2003. 176 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2003.

CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; RONDON NETO, R. M.; WATZLAWICK, L. F.; SANTOS, E. M. Quantificação da biomassa acima do solo de *Acacia mearnsii* De Wild., procedência de Batemans Bay – Australia. **Ciência Florestal**, v. 11, n. 2, p. 79-91, 2001.

CAMPOS, J. C. C.; TREVIZOL JÚNIOR, T. L.; PAULA NETO, F. Ainda, sobre a seleção de equações de volume. **Árvore**, v. 2, n. 9, p.115-126, 1985.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. Viçosa: UFV, 2009. 3º Ed. 548 p.

CAMPOS, J. C. C.; VALENTE, O. F. Considerações sobre o inventário de povoamentos florestais, com ênfase na biomassa e na sua transformação em carvão vegetal. **Boletim técnico SIF**, Viçosa, n. 1, 19 p. 1993.

CARDOSO, D. J. **Avaliação da influência dos fatores sítio, idade, densidade e posição sociológica na relação hipsométrica para *Pinus taeda* nas regiões**

central e sudoeste do estado do Paraná. 1989. 106 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná.

CASTELO, P. A. R. **Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus taeda* em diferentes sítios de crescimento e espaçamentos, através do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão.** 2007. 137 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2007.

CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da Madeira serrada de *Pinus taeda* L.** 2005. 123 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2005.

CLUTTER, J. L.; FORTSON, J. C.; PIENAAR, L. V.; BRISTER, G. H.; BAILEY, R. L. **Timber Management: a quantitative approach.** New York: John Wiley and Sons, 1983. 383 p.

COELHO, V. C. M. **Avaliação do manejo da produção econômica de madeira de *Pinus taeda* L. com características qualitativas superiores.** 2010. 121 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2010.

COSTAS, R.; MAC DONAGH, P.; WEBER, E.; FIGUEREDO, S.; IRSCHICK, P. Influencias de la densidad y podas sobre la producción de *Pinus taeda* L. a los 7 años de edad. **Ciência Florestal**, v.15, n.3, p.275-284, 2005.

COSTAS, R.; MAC DONAGH, P.; WEBER, E.; IRSCHICK, P.; PALAVECINO, J. *Pinus taeda* L. Densidad de Plantación y Rendimiento. **Facultad de Ciencias Agrarias**, Cuyo, v. 33, n. 2, p. 11-19, 2001.

COSTAS, R.; MAC DONAGH, P.; WEBER, E.; IRSCHICK, P.; PALAVECINO, J. Efectos de la Densidad de plantación y la altura de poda sobre la producción de *Pinus taeda* L. a los 5 años de edad. **Floresta**, v. 33, n. 1, p. 79-97, 2003 a.

COSTAS, R.; MAC DONAGH, P.; WEBER, E.; IRSCHICK, P.; PALAVECINO, J. Efectos de la Densidad de plantación y la altura de poda sobre la producción de *Pinus taeda* L. a los 6 años de edad. **Forestal Venezolana**, 2003 b.

COUTO, L. **Influência do espaçamento no crescimento do *Eucalyptus urophylla* de origem híbrida cultivado na região de Coronel Fabriciano – Minas Gerais.** 1977. 45 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 1977.

CRECHI, E.; FRIEDL, R.; FERNÁNDEZ, R. Efecto de la densidad de plantación sobre el crecimiento de *Pinus taeda* L. Jornadas sobre Pinos subtropicales, 1992, Eldorado. **Actas...** Eldorado, Argentina, Centro de Investigaciones y Experiencias Forestales, 1992. p. 92-110.

DACOSTA, L. P. E. **Relações biométricas em povoamentos jovens de *Pinus taeda* L. na província de Corrientes, República da Argentina.** 2008. 128 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2008.

DANIEL, T. W.; HELM, J. A.; BACKER, F. S. **Principles of silviculture.** New York: Mc Graw-Hill, 1982.

DIÉGUEZ-ARANDA, U.; BARRIO, M.; CASTEDO, F. R. A. D.; ÁLVAREZ-GONZALES, J. G.; ROJO, A. **Dendrometría.** Madrid: Mundi Prensa. 327 p. 2003.

ELESBÃO, L. E. G. **Performance do *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L. em áreas arenizadas e degradadas no Oeste do Rio Grande do Sul.** 2011. 155 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2011.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Brasília: Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 412 p.

ENCINAS, J. I.; SILVA, G. F.; PINTO, J. R. **Idade e crescimento das árvores.** Comunicações Técnicas Florestais, Brasília, UFB, 2005, v. 7, n. 1, 25 p.

EVERT, F. Spacing studies: a review. Information report. **FMR-X**, Ottawa, (37): 1-95, dez.1971.

FAHLER, J. C.; DI LUCCA, C.; OROZCO, E.; RODRIGUEZ, G.; GIMÉNEZ, S. Comportamiento de 10 diferentes densidades de plantación inicial en *P. taeda* a los 8 años de edad en suelos del complejo 9 (C.A.R.T.A.) em la provincia de Misiones: E. E. A. Misiones. INTA, 1986. **Informe Técnico**, n. 46.

FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D.; REISSMANN, C. B.; BELLOTE, A. F. J.; MARQUES, R. **Nutrição de pinus no sul do Brasil: diagnóstico e prioridades de pesquisa.** Documentos EMBRAPA Florestas, Paraná, 2001, n. 60, p. 1-23.

FERREIRA, M. G. M. **An analysis of the productivity of *Eucalyptus grandis* plantations in the “cerrado” region in Brazil: a nutrient cycling approach.** 1984. 230 p. Thesis (Ph.D.) – University of British Columbia, Vancouver, 1984.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal.** Santa Maria: UFSM, CEPEFFATEC, 1992.

FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R.; BAZZO, J. L.; MEYER, J. E. K. Efeito da intensidade de desrama sobre o crescimento e a produção de *Eucalyptus saligna* Smith. **Cerne**, v. 7, n. 2, p. 53-64, 2001.

FINKE HERRERA, M. E. **Densidade básica e equações de peso de madeira seca de povoamentos de eucaliptos de acordo com a idade, espécie e método de**

regeneração. 1989. 113 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 1989.

FISHWICK, R. W. Estudos de espaçamentos e desbastes em plantações brasileiras. **Brasil Florestal**, v. 7, n. 26, p. 13-23, 1976.

GILMAN, E. F.; WATSON, D. G. ***Pinus elliottii***: Fact Sheet ST-463. [Gainesville]: United States Forest Service-Environmental Horticulture Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, Oct. 1994. 4 p.

GIONGO, M.; SILVA, D. B.; KOEHLER, H. S.; MARCHETTI, M. Inventário de biomassa em um plantio de *Pinus elliottii* Engelm. aos 23 anos de idade. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 2, n. 3, p. 81-86, 2011.

GIVNISH, T. J. Adaptation to sun and shade: a whole plant perspective. **Australian Journal of Plant Physiology** 15: 63-92, 1988.

GOLFARI, L. Response of some tropical and subtropical conifers to various site conditions in Brazil. In: 15th I.U.F.R.O. Congress, Gainesville, Florida, U.S.A. 1971.

GOMES, F. S.; MAESTRI, R.; SANQUETTA, C. R. Avaliação da produção em volume total e sortimento em povoamento de *Pinus taeda* L. submetidos a diferentes condições de espaçamento inicial e sítio. **Ciência Florestal**, v. 7, p. 101-126, 1997.

GOMES, F. S.; SANQUETTA, C. R.; SCOLFORO, J. R. S.; GRAÇA, L. R.; MAESTRI, R. Efeitos do sítio e de cenários de custos e preços na análise de regimes de manejo com e sem desbastes em *Pinus taeda* L. **Cerne**, v. 8, n. 1, p. 013-031, 2002.

GOMEZ-POMPA, A.; VÁZQUEZ-YANES, C. Estudios sobre sucession secundaria en los tropicos calidos-humedos: el ciclo de vida de las especies secundarias. In: A. Gómez-Pompa (coord.). **Regeneracion de selvas**. México: Continental, p. 579-93. 1976.

GUIMARÃES, R. F. **Ensaio de espaçamentos em *Eucalyptus saligna*, para produção de lenha**. Anuário Brasileiro de Economia Florestal, v. 9, n. 9, p. 144-172, 1957.

HARMS, W. R.; WHITESELL, C. D.; DeBELL, D. S. Growth and development of loblolly pine in a spacing trial planted in Hawaii. **Forest Ecology and Management**, v. 126, p. 13-14, 2000.

HASELEIN, C. R.; CECHIN, E.; SANTINI, E. J.; GATTO, D. A. Características estruturais da madeira de *Pinus elliottii* Engelm aos 30 anos de idade. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 135-144, 2000.

HIGUCHI, N.; CARVALHO JÚNIOR, J. A. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: **Seminário Emissão x sequestro de CO₂ – uma nova oportunidade de negócios para o Brasil**. Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce. 1994. p. 125-145.

HILEY, W. E. **Conifers: South African methods of cultivation**. London: Faber and Faber, 1959. 123 p.

HOSOKAWA, R. T.; MOURA, J. B.; CUNHA, U. S. **Introdução ao manejo e economia de florestas**. Curitiba: Editora UFPR, 1998. 162 p.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest mensuration**. 3th. New York: John Wiley e Sons, 1982, 402 p.

INOUE, M. T.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARAUJO, A. J.; LIMA, R. Growth of *Pinus taeda* L. at early stage as function of vital space. In: World FORESTRY CONGRESS, 13, 2009, Buenos Aires, Argentina. WORLD FORESTRY CONGRESS, 13. 2009, Buenos Aires. **Annals...** Buenos Aires: FAO, 2009. p. 805.

INOUE, M. T.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARAUJO, A. J.; LIMA, R. Crescimento Juvenil de *Pinus taeda* em função do espaço vital de crescimento. **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 1, p. 57-62, 2011 a.

INOUE, M. T.; FIGUEIREDO FILHO, A.; LIMA, R. Influência do espaço vital de crescimento na altura e diâmetro de *Pinus taeda* L. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 91, p. 377-385, set. 2011 b.

IRATI, Prefeitura Municipal. **Geografia**. 2013. Disponível em: <http://www.irati.pr.gov.br/internas.php?url=mun_geografia> Acesso em: Jan. 2013.

JONES, E. P. Slash pine plantation spacing study, age 30. **Proceedings of the Fourth Biennial Southern Silvicultural Research conference**, Atlanta, p. 45-49, 1987.

KOEHLER, H. S.; WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F. Fontes e níveis de erros nas estimativas do potencial de fixação de carbono. In: SANQUETTA, C. R. *et al.* (Eds.). **As florestas e o carbono**. Curitiba, 2002. p. 251-264.

KOZLOWSKI, T. T.; KRAMER, P. J.; PALLARDY, S. G. **The physiological ecology of woody plants**. San Diego: Academic Press, 1991. 657 p.

KRAMER, P. J.; KOZLOWSKI, T. T. **Fisiologia da árvore**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa, 1979, 745 p.

KRONKA, F. J. N.; BERTOLANI, F.; PONCE, R. H. **A Cultura do Pinus no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2005.

LADEIRA, B. C. **Crescimento, produção de biomassa e eficiência nutricional de *Eucalyptus* spp., sob três diferentes espaçamentos, em uma sequencia de idades.** 1999. 132 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 1999.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal.** São Carlos: RIMA. 2000, 531 p.

LEITE, H. G.; ANDRADE, V. C. L. Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas. **Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 3, 2002.

LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; MOREIRA, A. M. Efeito do espaçamento e da idade sobre variáveis de povoamentos de *Pinus taeda* L. **Árvore**, n. 30, v. 4, p. 603-612, 2006.

LIMA, R. **Crescimento de *Pinus taeda* L. em diferentes espaçamentos.** 2010. 120 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, Paraná, 2010.

LIMA, R.; INOUE, M. T.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARAUJO, A. J.; MACHADO, S. A. **Efeito do espaçamento no desenvolvimento volumétrico de *Pinus taeda* L.** Floresta e Ambiente, n. 20, v. 2, p. 223-230, 2013.

LIMA, R.; INOUE, M. T.; LOMBARDI, K. C.; BLUM, H.; SAMPIETRO, J. A. Carbono orgânico no solo em função do espaço vital de crescimento de *Pinus taeda* L. In: XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. **Resumos...** Fortaleza, v. 1, p. 463-583, 2009.

LISBOA, A. C. **Estoque de carbono orgânico em área de recomposição florestal com diferentes espaçamentos de plantio.** 2010. 62 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, 2010.

LORENZI, H.; SOUZA, M. H.; TORRES, M. A. V.; BACHER, L. B. **Árvores exóticas no Brasil. Madeireiras, ornamentais e aromáticas.** Nova Odessa: Instituto Plantarum. 2003, 339 p.

MACDICKEN, K. G. **A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects.** Forest Carbon Monitoring Program. Winrock International Institute for Agricultural Development, 1997.

MACHADO, S. A.; CONCEIÇÃO, M. B.; FIGUEIREDO, D. J. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. **Ciências Exatas e Naturais**, v.4, n.2, p.185-197, 2002.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria.** 2ª Ed. Guarapuava: UNICENTRO. 2006, 316 p.

MADGWICK, H. A. I.; KREH, R. E. Biomass estimation for Virginia pine trees and stands. **Forest Science**, 26 (1): 107-111, 1980.

MAESTRI, R. Manejo florestal para a obtenção de múltiplos produtos. In: Semana do meio ambiente, 3.: Produção e proteção – a busca do desenvolvimento sustentável. **Palestras...** Lavras: ESAL, 1994. 12 p.

MARCENE, E. A.; CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R.; SCHNEIDER, C. R. Variação nos teores e estoques individuais de carbono fixado com o crescimento de *Gmelina arborea* Roxb. na região litorânea do Paraná, Brasil. **Scientia Forestalis**, n. 71, p. 53-63, 2006.

MELLO, H. A.; SIMÕES, J. W.; FERREIRA, C. A.; BRASIL, U. M. **Influência do espaçamento e da idade de corte na produção de madeira de eucalipto em solo de cerrado**. IPEF, v. 13, p. 143-162, 1976.

MIRANDA, D. C. L. **Modelos matemáticos de estoque de biomassa e carbono em áreas de restauração florestal no sudoeste paulista**. 2008. 130 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2008.

MIRANDA, D. C. L.; SANQUETTA, C. R.; COSTA, L. G. S.; CORTE, A. P. D. Biomassa e carbono em *Euterpe oleracea* Mart., na Ilha do Marajó – PA. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 3, p. 336-343, 2012.

MOGNON, F.; DALLAGNOL, F. S.; SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; BARRETO, T. G. Uma década de dinâmica da fixação de carbono na biomassa arbórea em Floresta Ombrófila Mista no Sul do Paraná. **Floresta**, v. 43, n. 1, p. 153-164, 2013.

MOLICA, S. G. **Produção de biomassa e eficiência nutricional de híbridos interespecíficos de eucalipto, em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais**. 1992. 84 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 1992.

MORAIS FILHO, A. D.; BRAVO, C. V.; ROQUE, R. A. M.; ANDRADE, W. F. **Utilização de métodos estatísticos em inventário florestal**. Piracicaba: ESALQ, 2003, 27 p.

MORAIS, V. **Dinâmica de crescimento de eucalipto sob diferentes espaçamentos, na região noroeste do estado de Minas Gerais**. 2006. 76 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 2006.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 434 p. 1986.

OGAWA, H.; KIRA, T. Primary productivity of Japanese forests. In: **Productivity of terrestrial communities**. Tokyo, 1977. 289 p. v. 16, p. 15-21.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; SIMÕES, J. W.; TOMAZELLO FILHO, M. Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil: 1 - avaliações dendrométricas das árvores. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 56, p. 113-124, dez. 1999.

OLIVEIRA NETO, S. N.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; NEVES, J. C. L.; Produção e distribuição de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. em resposta à adubação e ao espaçamento. **Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 15-23, 2003.

PACHECO, J. M. **Influência do espaçamento no crescimento de *Pinus taeda* L. na região Centro-Sul do Paraná.** 2013. 58 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, Paraná, 2013.

PAIXÃO, F. A.; SOARES, C. P. B.; JACOVINE, L. A. G.; SILVA, M. L. D.; LEITE, H. G.; SILVA, G. F. D. Quantificação do estoque de carbono e avaliação econômica de diferentes alternativas de manejo em um plantio de eucalipto. **Árvore**, v. 30, n. 3, p. 411-420, 2006.

PARDÉ, J. Forest biomass. In: **Forestry abstract review article**. França: Station de sylviculture et de production, Centre National de Recherches Forestieres, 1980, v. 41. p. 349-352.

PATIÑO-VALERA, F. **Variação genética em progênies de *Eucalyptus saligna* Smith e sua interação com espaçamento.** 1986. 211 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – ESALQ/USP, Piracicaba, São Paulo, 1986.

PAULESKI, D. T. **Influência do espaçamento sobre o crescimento e a qualidade da madeira de *Pinus taeda* L.** 2010. 198 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2010.

PAULINO, E. J. **Influência do espaçamento e da idade na produção de biomassa e na rotação econômica em plantio de eucalipto.** 2012. 59 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, Minas Gerais, 2012.

PEREIRA, A. R. **Biomassa e ciclagem de nutrientes minerais em povoamentos jovens de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*, em região do cerrado.** 1990. 167 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 1990.

PINHEIRO, G. S. **Estimativa de pesos de copas de *Pinus caribea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa* através de parâmetros dendrométricos.** 1980. 105 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 1980.

PINKARD, E. A.; NEILSEN, W. A. Crown and stand characteristics of *Eucalyptus nitens* in response to initial spacing: implications for thinning. **Forest Ecology and Management**, v.172, n. 2/3, p. 215-227, 2003.

PRANGE, P. W. ***Pinus taeda*: a observação que deu início ao sucesso da espécie**. In: Sociedade Brasileira de Silvicultura. Memórias, 2003, 1 p.

PRODAN, M.; PETERS, R.; LOX, F.; REAL, P. **Mensura forestal**. San José: IICA, 561p. 1997.

REISSMANN, C. B.; WISNIEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de Pinus. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, p. 135-166, 2000.

REZENDE, A. V. **Diversidade, estrutura, dinâmica e prognose do crescimento de um cerrado sensu stricto submetido a diferentes distúrbios por desmatamento**. 2002. 243 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2002.

REZENDE, A. V.; VALE, A. T.; SANQUETTA, C. R.; FIGUEIREDO FILHO, A.; FELFILI, J. M. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado sensu stricto em Brasília, DF. **Scientia Forestalis**, n. 71, p. 65-76, agosto, 2006.

RONDON, E. V. Estudo de *Tectona grandis* L. f. sob diferentes espaçamentos no estado de Mato Grosso. **Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 337-341, 2006.

RONDON, E. V. Produção de biomassa e crescimento de árvores de *Schizolobium amazonicum* (Huber) Ducke sob diferentes espaçamentos na região de Mata. **Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 5, p. 573-576, 2002.

ROSOT, N. C. **Estimativa do peso de madeira seca de *Pinus taeda* L. por ocasião do primeiro desbaste**. 1980. 79 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 1980.

SALATI, E. Emissão x sequestro de CO₂ – uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. In: **Seminário emissão x sequestro de CO₂ – uma nova oportunidade de negócios para o Brasil**. Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce. p. 15-37, 1994.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. Plant Physiology. Belmont: **Wadsworth Publishing Co**, 682 p., 1992.

SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E.; MELLO, A. A.; SILVA, E. Q.; BARTH FILHO, N.; MATOSKI, S. L. S. Produção de madeira livre de nós em povoamentos de *Pinus taeda* em função da densidade de plantio. **Cerne**, v. 9, n. 2, p. 129-140, 2003 a.

SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R. Metodologias para determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILIOOTTO, M. A. B. (Eds.). **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas**. Curitiba: UFPR/Ecoplan, 2004. p. 77-93.

SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R. *et al.* (Eds.). **As florestas e o carbono**. p. 119-140. 2002.

SANQUETTA, C. R.; MORA, A. L.; BORSATO, R.; VIDAL, M. A. S.; PEIXOTO, A. M.; CHIARANDA, R. Efeito do espaçamento de plantio em reflorestamentos – II. *Pinus taeda* L. em Jaguariaíva-PR. **Acadêmica**, v. 1, n. 1, p. 55-61, 2003 b.

SANQUETTA, C. R.; REZENDE, A. B.; GAIAD, D.; SCHAAF, L. B.; ZAMPIER, A. C. Produção de madeira para laminação em povoamentos de *Pinus taeda* submetidos a diferentes densidades e regimes de desbaste: uma abordagem experimental. **Floresta**, v. 28, n.1/2, p. 80-96, 1998.

SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; ARCE, J. E.; MELLO, A. A. Ecuaciones de biomassa aérea y subterránea en plantaciones de *Pinus taeda* en el sur del estado del Paraná, Brasil. In: Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la captura de Carbono em Ecosistemas Forestales, Valdivia: CD documentos, 2001. p. 1-11.

SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; CORTE, A. P. D.; FERNANDES, L. A. V. **Inventários florestais: planejamento e execução**. Curitiba: [s.e.], 2006. 270 p.

SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; SCHUMACHER, M. V.; MELLO, A. A. Relações individuais de biomassa e conteúdo de carbono em plantações de *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda* no sul do estado do Paraná, Brasil. **Acadêmica**, v. 1, n. 3, p. 33-40, 2003 c.

SANTOS, M. D. **Efeito do espaçamento de plantio na biomassa do fuste de um clone híbrido interespecífico de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla***. 2011. 140 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, São Paulo, 2011.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Determinação de regimes de desbaste para povoamentos de *Pinus elliottii* do planalto ocidental no Estado de Santa Catarina. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 43-59, 1994.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Influência da intensidade de desbaste sobre o crescimento em altura de *Pinus elliottii* E. **Ciência Florestal**, v. 3, n. 1, p. 171-184, 1993.

SCHNEIDER, P. R. Forma de tronco e sortimento para *Pinus elliottii* Engelm., da floresta nacional de Passo Fundo, Rio Grande do Sul. **Acta For. Bras.**, v. 1, p. 43-64, 1986.

SCHNEIDER, P. R. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria: UFSM, CEPEF, FATEC. 1993. 348 p.

SCHONAU, A. P. G. Silvicultural considerations for high productivity of *Eucalyptus grandis*. **Forest ecology and management**, v. 9, n. 4, p. 295-314. 1984.

SCHUCHOVSKI, M. S. **Diagnóstico e planejamento do consumo de madeira e da produção em plantações florestais no estado do Paraná**. 2003. 78 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2003.

SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. S. Logarithmic expression of timber volume. **Journal of Agricultural Research**, v. 47, n. 9, p. 719-734, 1933.

SCHUMACHER, M. V.; VOGEL, H. L. M.; BARICHELLO, L. R.; CALDEIRA, M. V. W. Quantificação do carbono orgânico em florestas de *Acacia mearnsii* De Wild em diferentes idades. In: 2º Simpósio Latino Americano sobre Manejo Florestal. **Anais...** Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2001, p. 387-399, 2001.

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R.; CALDEIRA, M. V. W.; WATZLAWICK, L. F. Estoque de carbono em florestas de *Pinus taeda* L. e *Acacia mearnsii* De Wild. plantadas no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. In: SANQUETTA, C. R. *et al.* (Eds.). **As florestas e o carbono**. Curitiba, 2002. p. 141-152.

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R. Inventário de carbono em povoamentos de *Eucalyptus* spp nas propriedades fumageiras do sul do Brasil: "Um estudo de caso". In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M. A. B., (Ed.) **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas**. Curitiba: AM Impressos, 2004. p. 111-124.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria Florestal**. Lavras: Universidade Federal de Lavras – UFLA/FAEPE, 2005.

SCOLFORO, J. R. S.; MACHADO, S. A. Um sistema de crescimento e produção com simulador de desbaste. **Scientia Forestalis**, n. 50, p. 51-64, 1996.

SCOLFORO, J. R. S. **Manejo Florestal**. Lavras: Universidade Federal de Lavras – UFLA/FAEPE. 438 p. 1998.

SCOLFORO, J. R. S. **Modelos para expressar o crescimento e a produção florestal**. Lavras: FAEPE, 1994.

SETTE JUNIOR, C. R.; NAKAJIMA, N. Y.; GEROMINI, M. P. Captura de carbono orgânico em povoamentos de *Pinus taeda* L. na região de Rio Negrinho, SC. **Floresta**, v. 36, n. 1, p. 33-44, 2006.

SHIMIZU, J. Y. **Cultivo do pinus**. Disponível em:

<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivoPinus/inex.htm>>. Acesso em: Jul. 2012.

SHIMIZU, J. Y. Pinus na silvicultura brasileira. **REMADE**, v. 16, n. 99, p. 4-14, set. 2006.

SHIMIZU, J. Y. Silvicultura de Pinus para o sul do Brasil. **REMADE**, v. 6, n. 37, p. 32-5, 1997.

SIEMON, G. R. *et al.* Effect of thinning on the distribution and biomass of foliage in the crown of radiata pine. **New Zealand Journal of Forestry Science**, 10 (3): 461-75, 1980.

SILVA, C. R. **Influência do espaçamento e arranjo de plantio na produtividade e uniformidade de clones de Eucalyptus na região nordeste do estado de São Paulo**. 2005. 50 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – ESALQ/USP, Piracicaba, São Paulo, 2005.

SILVA, H. D. **Biomassa e aspectos nutricionais de cinco espécies de Eucalyptus, plantados em solo de baixa fertilidade**. 1983. 91 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 1983.

SILVA, H. D.; FERREIRA, C. A. **Cultivo do Pinus: Sistemas de plantio**. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus/08_2_sistemas_de_plantio_espacamento.htm>. Acesso em: Abr. 2013.

SILVEIRA, P. Estimativa da biomassa acima do solo em um fragmento de floresta ombrófila densa utilizando o método da derivação do volume comercial. **Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 4, p. 790-800. 2010.

SILVEIRA, P.; KOEHLER, H. S.; SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 1, p. 185-206, 2008.

SILVEIRA, P. **Métodos indiretos de estimativa do conteúdo de biomassa e do estoque de carbono em um fragmento de floresta ombrófila densa**. 2008. 112 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2008.

SIMEPAR, Sistema Meteorológico do Paraná. **Clima**. 2013. Disponível em: <<http://www.simepar.br/site/internas/conteudo/meteorologia/tempo.jsp?id=4110706>> Acesso em: Jan. 2013.

SIMÕES, J. W.; BRANDI, R. M.; MALINOVSKY, J. R. **Formação de florestas com espécies de rápido crescimento**. Brasília: IBDF/PNUD/FAO, 1976. 74 p. (Série divulgação PNUD/FAO/IBDF/BRA-45, 6).

SIMÕES, J. W. **Manejo silvicultural de eucalipto para a produção de madeira grossa**. In: Curso de atualização – processamento mecânico e secagem da madeira de eucalyptus spp, Piracicaba, 1994. 17 p.

SMITH, W. D.; STRUB, M. R. Initial spacing: how many trees to plant. In: DURYEA, M. L.; DOUGHERTY, P. M. **Forests regeneration manual**. Dordrecht: Keuwer Ac. Publishers, 1991. p. 281-289.

SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G.; GORGENS, E. B. Equações para estimar o estoque de carbono no fuste de árvores individuais e em plantios comerciais de eucalipto. **Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 5, 2005.

SOARES, C. P. B.; NETO, F. P.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal**. 2ª Ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2011. 272 p.

SOARES C. P. B.; OLIVEIRA, M. L. R. Equações para estimar a quantidade de carbono na parte aérea de árvores de eucalipto em Viçosa, Minas Gerais. **Árvore**, v. 26, n. 5, p. 533-539, 2002.

SOARES, R. V.; HOSOKAWA, R. T. Estimativa da biomassa energética de árvores de bracatinga. **Brasil Florestal**: Boletim Técnico, Brasília, n. 8, p. 37-48, 1984.

SOUZA, D. R. **Efeitos do espaçamento na produtividade volumétrica de madeira em povoamentos de *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* até os 16 anos de idade**. 1995. 97 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - ESALQ/USP, Piracicaba, São Paulo, 1995.

SOUZA, J. T.; FIORENTIN, L. D. Quantificação da biomassa e do carbono em povoamento de *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex Maiden, em Santa Maria, RS. **Unoesc e Ciência** – ACET, Joaçaba, v. 4, n. 2, p. 253-262, 2013.

SPURR, H. **Forest inventory**. New York: The Ronald Press Company. 1952.

SUASSUNA, J. **A cultura do Pinus: uma perspectiva e uma preocupação**. Disponível em: <http://www.fundaj.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=760&Itemid=376>. Acesso em: Ago. 2012.

SUASSUNA, J. Obtenção de Sementes. **REMADE**, Ed. Especial, p. 32-42. n. 99, 2006.

SUTTON, W. R. J. Effects of initial spacing on branch size – a summary of results do date. In: SUTTON, W. R. J. (Ed). FRI SYMPOSIUM PRUNING AND THINNING PRACTICE, 12., 1970, Rotorua, New Zealand. **Anais...**Rotorua, New Zealand: Forest Service Institute, 1970. p.106-107.

TAYLOR, C. J. **Introdução à silvicultura tropical**. São Paulo: Edgard Blucher, 1969, 200p. Tradução: Helládio do Amaral Mello.

TOUMEY, J. W.; KORSTIAN, C. F. **Seeding and planting in the practice of forestry**. John Wiley and Sons, New York, 218 p. 1967.

TURNBULL, M. H.; DOLEY, D.; YATES, D. J. The dynamics of photosynthetic acclimation to changes in light quantity and a quality in three Australian rainforest tree species. **Oecologia** 94:218-228, 1993.

URBANO, E. **Estimativa da biomassa aérea e do peso de carbono fixado em árvores de bracatingais nativos na região metropolitana de Curitiba**. 2007. 84 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2007.

VALE, A. B.; PAIVA, H. N.; FELFILI, J. M. **Influência do espaçamento e do sítio na produção florestal**. Boletim Técnico SIF, n. 4, 1982. 20 p.

VALÉRIO, A. F. **Quantificação e modelagem da biomassa e carbono em plantações de *Pinus elliotti* Eng. com diferentes idades**. 2009. 111 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, Paraná, 2009.

VANCLAY, J. K. **Modeling Forest Growth and Yield: applications to Mixed Tropical Forests**. Wallingford: CAB International. 1994.

VINCE-PRUE, D. **Photoperiodism in plants**. London: McGraw Hill, 1975. 444 p.

VISMARA, E. S. **Mensuração da biomassa e construção de modelos para construção de equações de biomassa**. 2009. 102 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – ESALQ/USP, Piracicaba, São Paulo, 2009.

WALTERS, M. B.; REICH, P. B. Low-light carbon balance and shade tolerance in the seedlings of woody plants: do winter deciduous and broad-leaved evergreen species differ? **New Phytologist** 143: 143-154, 1999.

WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; SANQUETTA, C. R.; CALDEIRA, M. V. W. Teores de carbono em espécies da floresta ombrófila mista. In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M. A. B. **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas**. Curitiba, 2004. 205 p.

WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F. Estimativa de biomassa e carbono utilizando imagens de satélite de alta resolução. In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M. A. B. **Fixação de carbono: atualidades, projetos e pesquisas**. Curitiba, 2004. 205 p.

WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F.; SANQUETTA, C. R.; SCHUMACHER, M. V. O papel do sensoriamento remoto nos estudos de carbono. In: SANQUETA, C. R. *et al.* (Eds.). **As florestas e o carbono**. Curitiba, 2002. p. 215-235.

WATZLAWICK, L. F.; SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E.; MELLO, A. A. Ecuaciones de biomassa aérea en plantaciones de *Araucaria angustifolia* en el sur del estado del Paraná, Brasil. **In:** Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales, Valdivia: CD documentos, 2001. p. 1-10.

WEHR, J. P. P. **Espaçamento de plantio: efeito na qualidade, economicidade e produtividade.** Piracicaba, 1982. (Seminário apresentado na disciplina de Formação e Manejo de Povoamentos Florestais - Curso de Pós-graduação).

WENDLING, J. L. G. **Modelos matemáticos de crescimento e de produção de em biomassa para árvores de *Euterpe edulis* Mart. plantadas a céu aberto.** 1998. 171 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 1998.

WHATLEY, J. M.; WHATLEY, F. R. **A luz e a vida das plantas.** São Paulo: EPU – Editora da Universidade de São Paulo, 1982. Temas de Biologia. v. 30. 101 p.

WOJCIECHOWSKI, J. C.; SCHUMACHER, M. V.; SILVA, P. A.; KRIEGER, J.; FANTONELLI, M.; GOULART, M. C.; CALEGARI, L.; ALBERTI, L. F.; MACHADO, A. A. **Biomassa em uma floresta de *Pinus elliottii* aos 19 anos de idade, em Santa Maria, RS.** **In:** 9º Congresso Florestal Estadual do Rio Grande do Sul - Nova Prata, 2003, 6 p.

ZOBEL, B. J.; VAN WIK, G.; STAHL, P. **Growing exotic forests.** A Wiley Interscience Publication, John Wiley and Sons, NY, USA. 508 p. 1987.